

20.922/H/04

TUGAS AKHIR
KS 1701



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

ANALISA TEKNIS KEGAGALAN
KOMPRESOR DI SEKSI UTILITAS PT. SEMEN GRESIK
(Persero) KOMPARTEMEN III TUBAN



RCS P
621.51
San
a-1
2004

DISUSUN OLEH :

HERI SANTOSO
NRP. 4298 100 057

PERPUSTAKAAN
ITS

Tgl. Terima	7-8-2004
Terima dari	RI
No. Agenda Prp.	220407

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNIS KEGAGALAN KOMPRESOR DI SEKSI UTILITAS PT. SEMEN GRESIK (Persero) KOMPARTEMEN III TUBAN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Surabaya, Juli 2004


Mengetahui/Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II




Ir. Lahar Baliwangi, MEng.
NIP. 132 133 979


DR. Ir. Ketut Budha Artana, MSc.
NIP. 132 125 668



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Sebaik - baik pemberian Allah kepada seseorang adalah akalanya, tak ada sesuatupun yang setara denganNya. Jika dia telah memberikan kesempurnaan pada seseorang, maka sempurna pula akhlak perbuatannya.
(Ibrahim Bin Hasan)*



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

KATA PENGANTAR

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Dengan mengucapkan puji syukur Alhamdulillah kepada ALLAH *Subhanu Wa Ta'ala* yang telah memberikan bimbingan, berkah, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir beserta laporannya sesuai dengan waktu yang diharapkan.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi sebagian persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Berbagai upaya telah penulis lakukan untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, tetapi penulis menyadari bahwa tulisan ini jauh dari sempurna. Besar harapan penulis agar tulisan ini bermanfaat dan bisa memberikan sumbangan pemikiran bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Dengan penuh kesungguhan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta, yang sangat berjasa membesarkan dan mendidik penulis dan banyak memberikan kasih sayang dan bantuan moral maupun materiil kepada penulis. Tiada kata-kata yang mampu melukiskan rasa terima kasih penulis kepada beliau berdua. Semoga Allah selalu menjaga dan melimpahkan rahmat-Nya kepada Bapak, Ibu dan keluarga penulis. Serta Luthfi, Ropik dan Rudin yang menemani 'ngopaski' penulis.
2. Bapak Ir. Lahar Baliwangi Meng, dan Bapak Dr. Ir. Ketut Budha Artana MSc, selaku dosen pembimbing I dan II. Tanpa bantuan dan dukungan Bapak Pembimbing berdua, mustahil Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Soerjo Widodo Adji, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS.
4. Bapak Ir. Agus Santoso MPhil, selaku sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS.



5. Bapak Ir. Eddy Setyo K., MSc, selaku dosen wali penulis.
6. Teman-temanku di kos Keputih gg makam B10, Pak Agus, Rio, Didit, Ainul, Bekti, dan Iwan. Terima kasih telah menjadi tetangga yang menyenangkan.
7. A'an, Hendrik, Iwan dan Widyo terimakasih telah menemani penulis tidur dan bantuan moral dan tenaga di Lab. Mesin Kapal serta tidak lupa grup-grup band Green Day, Metallica, Slank, Iwan Fals dll. yang menemani penulis 'melekan' sepanjang malam.
8. Dan seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan angkatan 98 yang tidak mungkin Penulis sebut satu persatu namanya, terima kasih telah banyak membantu penulis dalam penyempurnaan laporan kerja praktek ini.

Semoga ALLAH SWT membalas segala budi baik orang-orang yang telah membantu Penulis dengan balasan yang lebih baik.

وَالسَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Surabaya, Januari 2004



DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penulisan	3
I.4 Manfaat Penulisan.....	3
I.5 Metode Penelitian	4
I.6 Batasan Masalah	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Macam-Macam Kompresor.....	1
II.1.1 Prinsip Kerja Kompresor Screw Tipe GA-160 W	3
II.1.2 Konstruksi Kompresor Screw	6
II.2 Dasar Pelumasan.....	9
II.2.1 Bahan Dasar Minyak Pelumas.....	9
II.2.2 Minyak Mineral	11
II.2.3 Komposisi Minyak Mineral	12
II.2.4 Sifat Minyak Mineral	13
II.2.5 Viskositas	21
II.2.6 Penggunaan Minyak Pelumas Pada Kompresor	28
II.3 Pendinginan	32
II.4 Analisa Fault Tree	35
II.4.1 Definisi Problem dan Kondisi Batas	37
II.4.2 Pengkonstruksian Fault Tree.....	39



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Umum	I
III.2 Pengumpulan Data	1
III.2.1 Spesifikasi Kompresor Atlas Copco.....	3
III.2.2 Spesifikasi Karakteristik Pelumas Untuk Kompresor Atlas Copco.....	3
III.2.3 Laporan Operasional.....	3
III.3 Analisa Data.....	6
III.4 Hasil Prediksi Kegagalan.....	7

BAB IV ANALISA HASIL PENELITIAN

IV.1 Analisa Hasil Pengujian Minyak Pelumas Baru.....	1
IV.2 Analisa Hasil Pengujian Pelumas Bekas RCR 68.....	4
IV.3 Analisa Hasil Pengujian Pelumas yang Rusak	7
IV.4 Konstruksi FTA	10

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	1
5.1 Saran.....	2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram alir metode penelitian	I-4
Gambar 2 Kompresor loading	II-4
Gambar 3 Kompresor Unloading	II-5
Gambar 4 Bidang yang menggambarkan aliran viskos dari Fluida Newtonian.....	II-23
Gambar 5 Cara mencari indeks viskositas dari minyak yang diperkirakan IV-nya antara $IV = 0$ dan $IV = 100$	II-26
Gambar 6 Struktur fundamental dari sebuah fault tree.....	II-38
Gambar 7 Diagram Alir Metodologi Penelitian	III-2



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Karakteristik minyak pelumas RCR 68.....	II-30
Tabel 2 Suhu teoritis untuk petunjuk minyak pelumas melayani mesin kompresor udara.....	II-31
Tabel 3 Suhu buang kompresor udara.....	II-31
Tabel 4 Perbandingan hasil pengujian pelumas RCR 68 baru dan pelumas yang dispesifikasikan.....	III-1
Tabel 5 Perbandingan hasil uji karakteristik pelumas sebelum dan setelah beroperasi.....	III-5



ABSTRAK

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Jika engkau merasa terusik oleh panasnya matahari, keringnya musim gugur dan dinginnya musim dingin, dan kau terlena oleh pesona musim semi, coba katakan padaku, kapan engkau dapat menuntut ilmu? (Ahmad Bin Faris Ar-Razy)

ABSTRAK

Proses produksi pada PT. Semen Gresik melalui beberapa macam proses. Peralatan-peralatan utama pada proses produksi antara lain adalah mesin Crusher, Reclaimer, Raw Mill, Kiln, Finish Mill, serta berbagai alat transport. Seluruh peralatan tersebut bekerja dalam satu sistem secara berkesinambungan sehingga apabila salah satu peralatan mengalami kegagalan maka akan berpengaruh juga terhadap peralatan lain dan sistem-sistem yang lain.

Seperti kasus yang terjadi pada Seksi Utilitas Divisi Produksi PT. Semen Gresik kompartemen III – Tuban yaitu adanya kerusakan kompresor. Kompresor ini berfungsi melayani kebutuhan udara tekan untuk operasi Kiln Tuban I dan Tuban II, sehingga kondisi ini sangat mengganggu dan mengkhawatirkan proses produksi. Kerusakan kompresor ini diindikasikan akibat terjadinya pembekuan minyak pelumas yaitu viskositas minyak pelumas meningkat diatas viskositas kerja kompresor yang disyaratkan. Pembekuan minyak pelumas ini mengakibatkan screw kompresor macet dan kompresor akhirnya terbakar.

Metode penelitian ini adalah dengan menguji karakteristik dari minyak pelumas RCR 68 sebelum dioperasikan dan sesudah dioperasikan. Dari perbedaan karakteristik tersebut kemudian dapat dianalisa dan diambil kesimpulan penyebab terjadinya kerusakan kompresor tersebut.

Kata kunci : *Kerusakan kompresor, pembekuan minyak pelumas, pengujian karakteristik minyak pelumas RCR 68.*



BAB I PENDAHULUAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Bacalah! Dengan nama Tuhanmu yang menciptakan, menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah! Tuhanmu yang mulia, yang mengajarkan manusia dengan kalam, mengajar manusia apa yang tidak mereka ketahui. (Q.S. Al Alaq)



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Proses produksi pada PT. Semen Gresik melalui beberapa macam proses. Disetiap proses tersebut terdapat peralatan-peralatan yang digunakan agar dapat mencapai hasil yang diinginkan. Peralatan-peralatan utama pada proses produksi antara lain adalah: *Crusher, Reclaimer, RawMill, Kiln, Finish Mill*, serta berbagai alat transport. Setiap peralatan utama tersebut adalah sebuah sistem yang terdiri dari peralatan utama dan peralatan-peralatan pendukung.

Seluruh peralatan-peralatan tersebut bekerja dalam satu sistem secara berkesinambungan. Oleh sebab itu bila salah satu peralatan mengalami kegagalan maka akan berpengaruh juga terhadap peralatan lain dan sistem-sistem yang lain. Seperti yang terjadi pada kompresor di Seksi Utilitas Divisi Produksi PT. Semen Gresik Kompartemen III Tuban. Pada seksi Utilitas terdapat kompresor screw tipe GA 160 lima unit dan I407 tiga unit yang melayani kebutuhan udara tekan untuk operasional Kiln Tuban I dan Tuban II. Dalam kurun waktu dua tahun terjadi kasus elemen screw kompresor macet hingga motor terbakar sebanyak dua kali. Kondisi tersebut sangat mengganggu dan mengkhawatirkan mengingat fungsi dari kompresor di utilitas melayani sebagian besar kebutuhan udara tekan. Sedangkan dari pihak Utilitas belum mengetahui secara pasti penyebab dari kerusakan kompresor.

Untuk itu perlu diadakan penelitian untuk menganalisa penyebab dari kegagalan kompresor sehingga dapat diketahui secara pasti penyebab dari kegagalan tersebut untuk kemudian diberikan solusinya agar kompresor dapat beroperasi normal dan memperkecil biaya *maintenance*.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada kompresor jenis *screw* pemindahan gas dilakukan oleh putaran *screw* pada rumah *screw* dengan menggunakan media minyak pelumas untuk menjebak udara sehingga menghasilkan tekanan pada saluran pelepasannya. Kompresor telah mengalami kegagalan yaitu elemen *screw* kompresor macet hingga motor terbakar sebanyak dua kali dalam kurun waktu dua tahun. Elemen *screw* yang macet disebabkan karena terjadi pembekuan minyak pelumas atau 'ngejel' yaitu viskositas minyak pelumas meningkat diatas viskositas kerja kompresor yang disyaratkan. Kerja dari motor yang menggerakkan *screw* kompresor menjadi berat, apabila *automatic switch off* tidak bekerja dengan baik *ampere* motor akan meningkat sehingga terjadi *trip* ke kontaktor motor akibatnya motor terbakar.

Viskositas minyak pelumas meningkat terjadi karena pendinginan yang kurang optimal sehingga temperatur kerja dari minyak pelumas dalam elemen kompresor meningkat sampai melampaui batas *flash point* dari spesifikasi minyak pelumas akibatnya ada sebagian minyak pelumas yang terbakar dan menghasilkan CO_2 (g), H_2O (l) dan senyawa karbon padat. CO_2 (g) terpisah ikut terbawa bersama udara yang dikompresi. Sedangkan H_2O (l) dan senyawa karbon padat tercampur dan bereaksi dengan minyak pelumas sehingga berakibat meningkatnya viskositas sejalan bertambahnya waktu operasional kompresor. Udara *ambient* dengan temperatur yang relatif tinggi berkisar antara $37^\circ - 39^\circ \text{C}$ serta kelembaban relatif juga tinggi diserap oleh kompresor dan bercampur bersama pelumas dalam elemen *screw* kompresor juga faktor yang menimbulkan temperatur kerja yang tinggi.

Kompresor pada seksi utilitas PT. Semen Gresik beroperasi 24 jam dan menggunakan jenis pendinginan air dengan sistem *cooling tower*. Pendinginan yang tidak optimal disebabkan karena terjadi penyempitan pada pipa sirkulasi pendinginan, sehingga debit air pendingin yang melalui pipa berkurang menyebabkan perpindahan panas antara fluida yang didinginkan dengan fluida pendingin kurang baik. Pada bagian utilitas menggunakan pipa dengan diameter 3 inci yang berfungsi sebagai pendingin udara di *after cooler* dan pendingin minyak pelumas di *oil cooler*. Penyempitan tersebut disebabkan adanya

penumpukan *scale* zat kapur pada dinding pipa terutama pada *elbow* dan sambungan-sambungan. Pembentukan *scale* ini disebabkan karena fluida pendingin memiliki kandungan zat kapur yang tinggi, dengan bertambahnya waktu *scale* yang terbentuk akan semakin tebal dan akhirnya menyumbat pipa. Karena pendinginan terhadap minyak pelumas tidak optimal akibatnya temperatur kerja minyak pelumas meningkat sehingga *seal-seal* dan *hose-hose* atau saluran minyak pelumas menjadi rusak atau bocor menyebabkan *gear* cepat rusak atau *bearing* aus, serta temperatur shaft yang menghubungkan elemen *screw* kompresor dengan motor meningkat akibatnya temperatur motor juga meningkat.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi Untuk menurunkan temperatur dan kinerja kompresor setelah perubahan fungsi dari *Unload* menjadi *Load Function* perlu di analisa sistem pelumas, Udara *ambient* dan air serta instalasi pendingin, dimana hal tersebut terkait pada sistem pendingin sebagai langkah perbandingan penentuan sistem pendingin yang lebih optimal yang diikuti dengan perancangan sistem pendingin yang lebih baik.

1.3 TUJUAN PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini bertujuan:

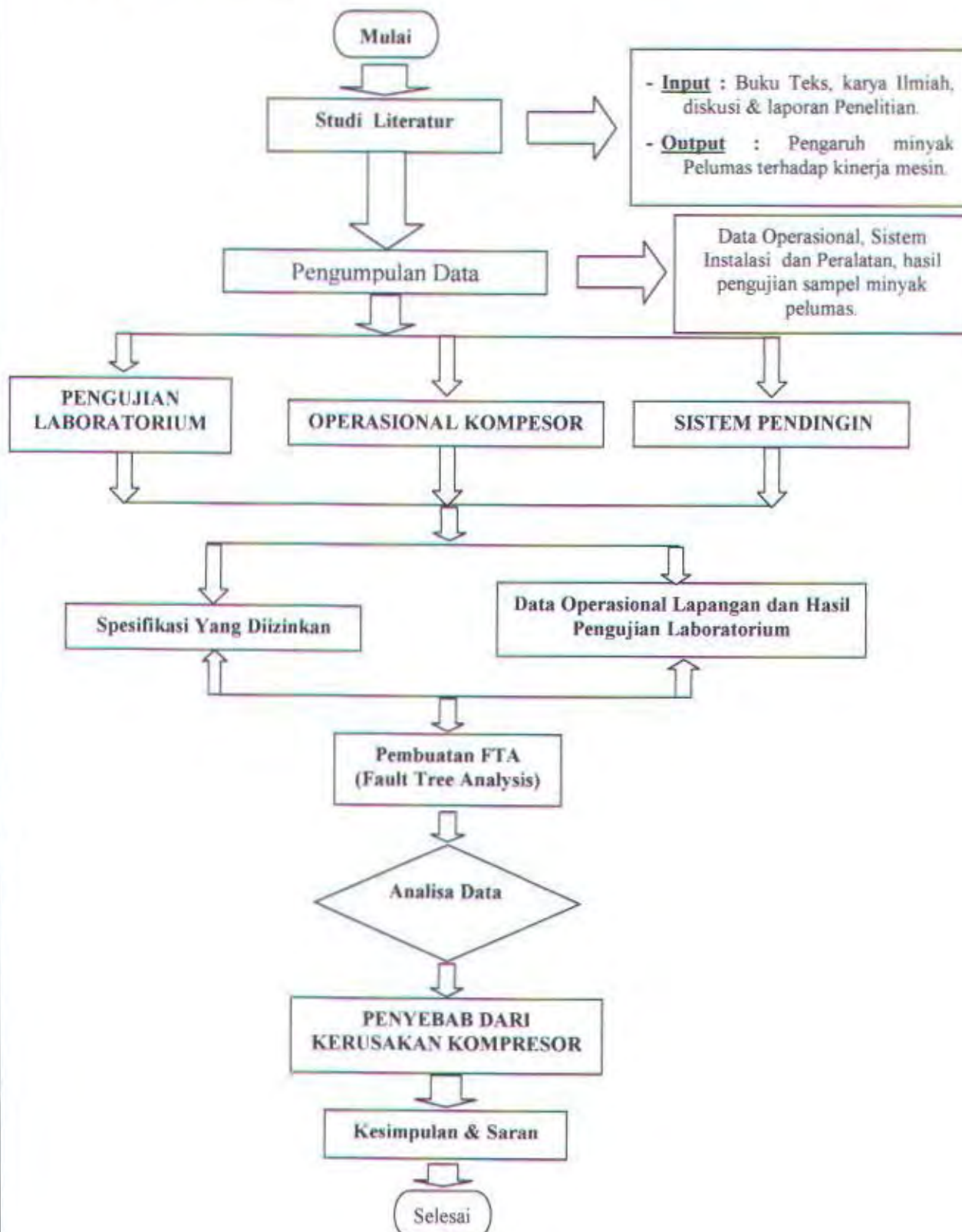
1. Mengkaji secara teknis hal-hal yang dihipotesakan pada diagram FTA menjadi penyebab terjadinya kerusakan kompresor dan pembekuan minyak pelumas.

1.4 MANFAAT HASIL TUGAS AKHIR

Manfaat yang diharapkan pada hasil Tugas Akhir ini adalah:

2. Memperkecil biaya *maintenance* dan operasional kompresor.
3. Memberikan salah satu solusi untuk memaksimalkan *life time* dari kompresor dan motor.
4. Mengoptimalkan sistem pendinginan air terhadap kompresor.

1.5 METODE PENELITIAN



Gambar 1.1 Diagram alir metodologi penelitian



Keterangan *Flow Chart*:

1. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur mulai mengenai prinsip kerja dari kompresor khususnya kompresor jenis *rotary*, sistem pelumasan yang bekerja pada kompresor *rotary*, kemudian studi sifat fisik dan kimia dari minyak pelumas. Studi literatur mengenai FTA (*Fault Tree Analysis*) yang nantinya digunakan untuk mendapatkan penyebab dari kerusakan kompresor tersebut.
2. Melakukan pengumpulan data lapangan meliputi data operasional kompresor, sistem instalasi dan peralatan yang mendukung operasional kompresor dan melakukan pengujian terhadap sampel minyak pelumas baru dan minyak pelumas bekas yang digunakan pada kompresor *rotary* tersebut.
3. Pengumpulan data ini mengacu pada hipotesa-hipotesa yang menyebabkan kerusakan dari kompresor meliputi sistem pelumasan dan spesifikasi dari minyak pelumas, pengoperasian kompresor serta instalasi dan sistem pendingin yang berperan penting dalam kinerja dari kompresor.
4. Dari data-data yang dikumpulkan akhirnya akan dibandingkan antara data lapangan dengan data-data spesifikasi yang disyaratkan, baik yang disyaratkan oleh pabrikasi maupun yang disyaratkan oleh buku-buku literatur.
5. Kemudian dibuat konstruksi dari FTA (*Fault Tree Analysis*) yang diharapkan akan mendapatkan penyebab utama dari kerusakan kompresor. FTA akan mengurutkan dari mulai *top event* hingga *basic event* yaitu penyebab paling dasar dari kerusakan kompresor tersebut.
6. Dari FTA yang dibuat kemudian dianalisa hasil yang didapatkan dengan rumus-rumus dan grafik-grafik untuk kemudian membuktikan hipotesa-hipotesa yang dibuat diatas.
7. Setelah didapatkan analisa hasil akhirnya didapatkan kesimpulan dan saran-saran untuk menemukan penyebab dari kerusakan kompresor.

I.5 BATASAN MASALAH

Pada penulisan Tugas Akhir ini penulis memberikan batasan untuk dapat mencapai tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada delapan kompresor pada seksi Utilitas yang dioperasikan oleh PT. Semen Gresik Kompartemen III Tuban yaitu kompresor *screw Atlas Copco* tipe GA-160W dan GA-1407.
2. Penelitian didasarkan pada data operasional dan *service report* kompresor pada Seksi Utilitas dan hasil uji lab. sampel minyak pelumas dari Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Industri.

I.6 SISTEMATIKA TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini terdiri dari:

Lembar judul

Lembar Identitas dan Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi

Daftar Tabel

Daftar Gambar

Daftar Lampiran

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang penulisan tugas akhir, perumusan masalah, pembatasan masalah dan tujuan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan sekilas tentang obyek yang akan diteliti, meliputi prinsip dasar dan konstruksi kompresor rotary, sistem-sistem pendukungnya yaitu sistem pelumasan dan sistem pendingin pada kompresor rotary secara umum serta teori pengkonstruksian FTA.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas tentang metode pengerjaan tugas akhir, pengolahan dan analisa data untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat pada tugas akhir.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas tentang hasil-hasil yang telah dicapai dalam pengerjaan tugas akhir dan manfaat-manfaat dari pengerjaan tugas akhir.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dari tugas akhir serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Katakanlah seandainya lautan menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, sungguh habislah lautan itu sebelum habis (ditulis) kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula). (Q.S. Al-Rahfi: 108)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Macam-Macam Kompresor

Berdasarkan cara kerjanya, kompresor dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu kompresor perpindahan positif dan kompresor sentrifugal. Kompresor perpindahan positif masih dapat dibagi dua lagi yaitu: kompresor *reciprocating* dan kompresor *screw*. Sedang kompresor sentrifugal dapat berupa kompresor aksial dan kompresor radial.

Prinsip kerja kompresor perpindahan positif adalah prinsip mendorong. Pada kompresor *reciprocating* udara atau gas diisap kedalam silinder dan kemudian dikompresi oleh gerak maju *puyer*. Sedang pada kompresor *screw* udara atau gas didorong oleh gerak putar *rotor*.

Macam-macam kompresor perpindahan positif mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

a. Kompresor *reciprocating*:

- Mempunyai *puyer* yang bergerak bolak-balik
- Mempunyai katup isap dan katup tekan
- Kapasitas aliran tidak rata
- Getaran harus rendah berhubung adanya daya inersia yang besar dari massa yang bergerak bolak-balik (gaya inersia adalah gaya yang terjadi dari massa yang mendapat percepatan atau perlambatan)
- Tekanan yang dihasilkan dapat sangat besar
- Memerlukan ruang yang relatif besar
- Biaya perawatan relatif besar

b. Kompresor *screw*:

- Mempunyai *rotor* yang berputar
- Tidak mempunyai katup
- Kapasitas aliran hampir rata
- Timbul gaya inersia yang kecil sehingga putaran dapat tinggi



- Penyekatan agak sulit
- Tekanan yang dihasilkan terbatas
- Berat mesin kecil
- Memerlukan ruang yang lebih kecil dibandingkan dengan kompresor bolak-balik

Dari segi operasinya macam-macam kompresor tersebut mempunyai perbedaan sebagai berikut:

Kompresor *reciprocating* dapat menyesuaikan diri terhadap fluktuasi tekanan kerja secara otomatis, tidak tergantung dari putaran dan kapasitas aliran. Kompresor *reciprocating* dipakai untuk operasi dengan kapasitas aliran kecil sampai sedang dan tekanan yang tinggi.

Kompresor *screw (rotary)* mempunyai sifat operasi mirip dengan kompresor *reciprocating* dengan pembatasan, bahwa kemungkinan penaikan tekanan terbatas. Kompresor *screw* dipakai untuk operasi dengan kapasitas aliran kecil dan tekanan sedang.

Kompresor *screw/rotary* secara ekonomis dibuat untuk kapasitas sampai $570 \text{ m}^3/\text{menit}$ dengan tekanan kerja $7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Pengaturan kapasitas dilakukan dengan cara:

1. Mengatur pembukaan katup pada sisi masuk
2. Membocorkan sebagian udara pada sisi tekan ke atmosfer
3. Mengatur putaran poros

Kompresor yang digunakan pada PT. Semen Gresik Kompartemen III Tuban adalah kompresor *screw* produksi Atlas Copco tipe GA 160W dan GA 1407. Pengaturan kapasitas dilakukan dengan cara mengatur pembukaan katup pada sisi masuk dan membocorkan udara pada sisi tekan ke atmosfer pada posisi *unloading*. Selanjutnya akan dijelaskan tentang prinsip dasar dan konstruksi kompresor *screw*.

Pada kompresor *screw* pemindahan gas dilakukan oleh putaran sudu geser/sepasang *rotor* yang berada dalam rumah sudu berbentuk silinder eksentrik sehingga menghasilkan tekanan pada saluran pelepasan yang besarnya tergantung dari hambatan didalam sistem pelepasannya. Masing-masing *rotor* berputar pada



poros yang sejajar, tertutup oleh rumah yang dibuat dari besi cor. *Rotor male* mempunyai tonjolan sebanyak empat buah dan *rotor female* mempunyai lekuk sebanyak enam buah. Tonjolan dari *rotor male* tepat masuk ke *rotor female*. Rotor ini mempunyai fungsi sebagai penyekat. *Rotor male* dan *rotor female* dihubungkan oleh roda gigi sehingga sepasang *rotor* tersebut berputar dengan arah berlawanan.

Bila *rotor* diputar, udara akan ditarik kedalam ruangan yang terbentuk antara tonjolan dan lekukan tersebut. Udara akan terperangkap pada ruang tersebut dan didorong kearah sisi tekan. Rongga tersebut volumenya semakin kecil bila mendekati sisi tekan. Dengan demikian tekanan udara yang terperangkap tersebut akan semakin meningkat pada saluran pelepasan karena pengecilan volume.

Kapasitas aliran volumetrik kompresor jenis *screw* sekitar 3.400–25.490 m³/jam, perbandingan kompresi 1,7–5,0 dan kemampuan pengisapan gas mencapai kevakuman 500–1000 mm air raksa *absolute*.

Kompresor *screw* adalah termasuk mesin penggeseran positif yang mempunyai ciri bertekanan sedang, kapasitas menengah dan aliran kontinyu.

Dalam peninjauan lapangan yang dilakukan diseksi utilitas PT. Semen Gresik Kompartemen III Tuban menggunakan kompresor jenis *screw* tipe GA 160W dan GA 1407. Pada dasarnya kedua jenis kompresor diatas mempunyai prinsip dasar yang sama. Besarnya aliran udara yang dihasilkan oleh kompresor diatur oleh sistem pengatur (*regulating system*). Sistem ini tetap menjaga agar *net pressure* atau tekanan udara dari kompresor yang dapat diprogram batasan tekanannya tergantung dari konsumsi udara di lapangan dengan *loading* dan *unloading* secara otomatis.

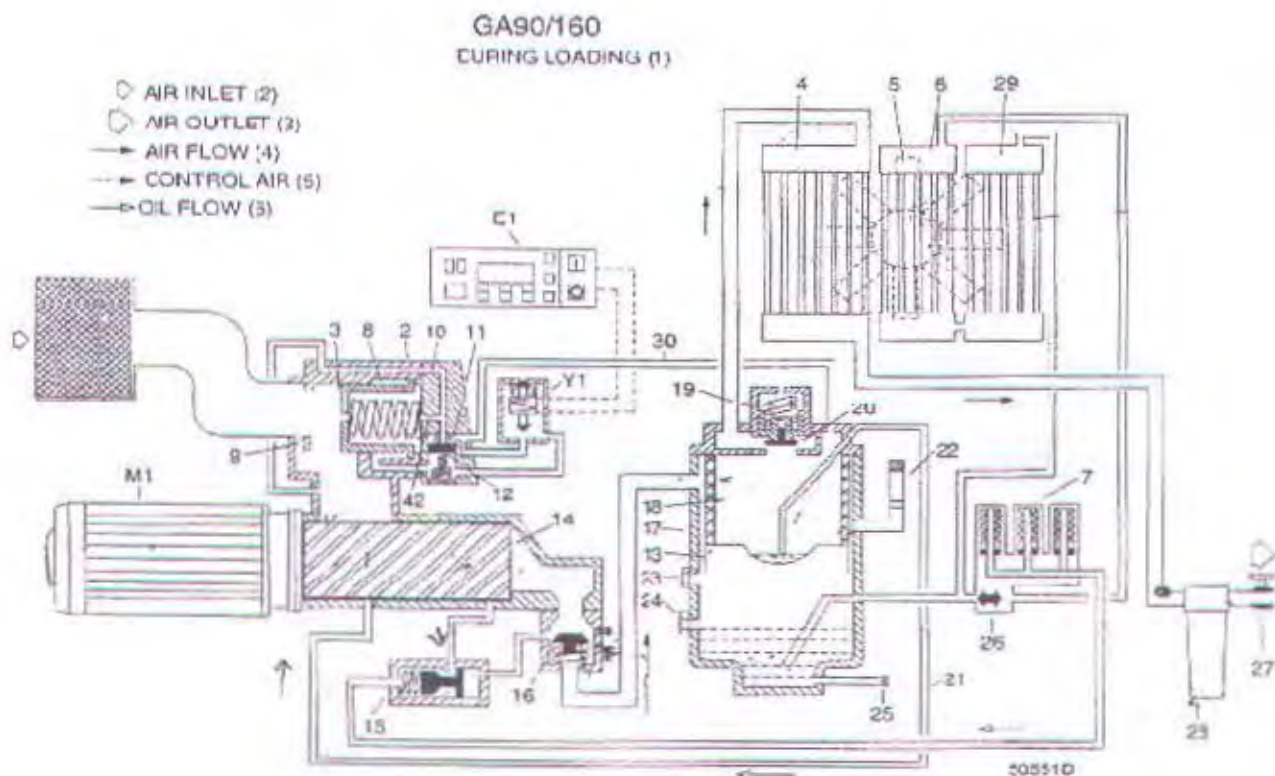
II.1.1. Prinsip Kerja Kompresor *Screw* Tipe GA-160W

Adapun prinsip kerja kompresor *screw* tipe GA-160W saat *loading* dan *unloading* adalah sebagai berikut :

a. Loading

Saat *net pressure* berkurang sampai dibawah batasan dari tekanan kerja, katup *solenoid* (Y1) diberi tenaga. Penghisap dari katup *solenoid* (Y1) bergerak keatas menekan gaya pegas.

1. Penghisap dari katup *solenoid* (Y1) membuka suplai tekanan *receiver* kearah *chamber* (8). Katup *unloading* (3) membuka menekan gaya pegas.
2. Tekanan dari *receiver* juga mendorong katup (12) keatas menutup saluran pembuangan (10 dan 42)
3. Pengangkutan udara tekan dilanjutkan (100%). Kompresor *loading*.



Gambar 2 Kompresor loading

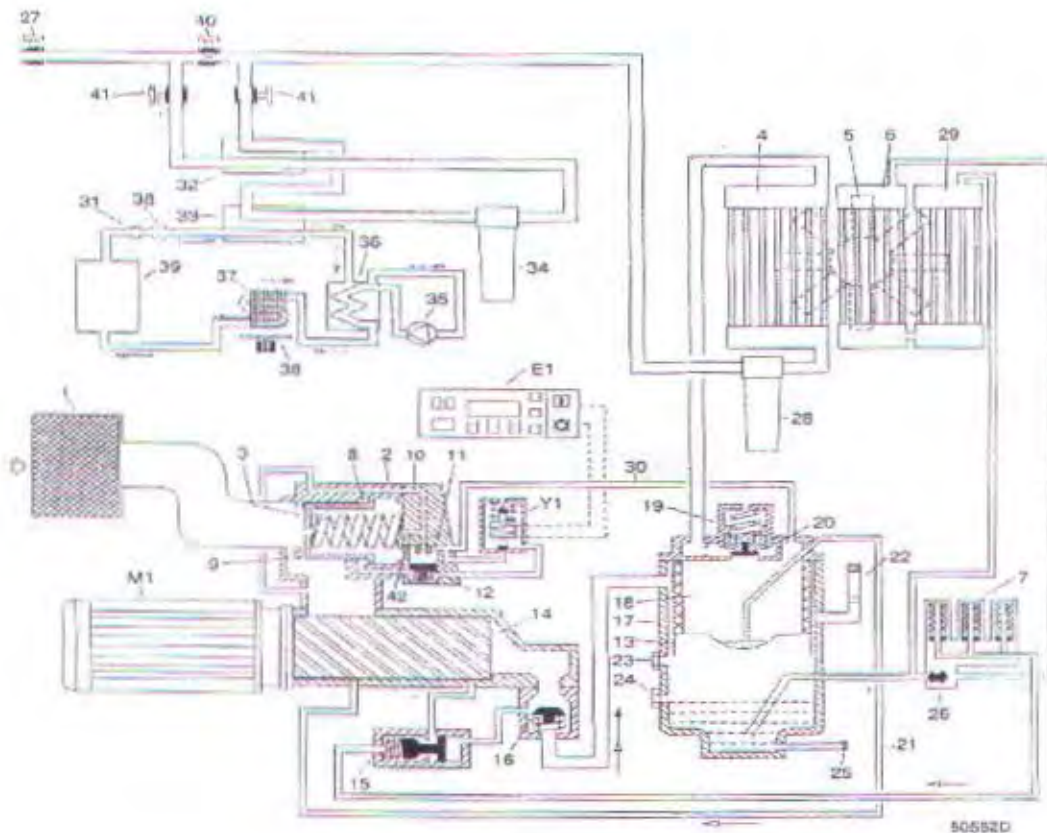
Keterangan :

- | | | |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Air Filter | 15. Oil stop valve | 30. Flexible, receiver pressure |
| 2. Unloader | 16. Check valve | 31. Filter |
| 3. Unloading valve | 17. Air receiver | 32. Heat exchanger |
| 4. Air cooler | 18. Oil separator element | 33. Heat exchanger |
| 5. Cooling fan | 19. Minimum pressure valve | 34. Condensate trap |
| 6. Oil cooler | 20. Check valve | 35. Refrigerant compressor |

- | | | |
|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 7. Oil filters | 21. Oil scavenging line | 36. Liquid separator |
| 8. Chamber, Control Pressure | 22. Safety valve | 37. Condensor |
| 9. By-Pass opening | 23. Oil filter valve | 38. Fan |
| 10. Blow-off channel | 24. Oil level indicator | 39. Refrigerant receiver |
| 11. Chamber, receiver pressure | 25. Oil drain plug | 40. By-pass valve |
| 12. Valve | 26. By-pass valve | 41. By-pass valve |
| 13. Shield | 27. Air outlet valve | 42. Channel |
| 14. Compressor element | 28. Condensate trap | E1. Elektronikon regulator |
| | 29. Oil cooler | Y1. Loading Solenoid valve |

b. Unloading

Jika konsumsi terhadap udara bertekanan kurang dari udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor maka *net pressure* meningkat. Ketika *net pressure* meningkat melewati batas atas dari tekanan kerja (*unloading pressure*), katup *solenoid* (Y1) dilepaskan, penghisap dari katup bergerak kebawah dengan gaya pegas, seperti yang terlihat di gambar 3, prosesnya adalah:



Gambar 3 Kompresor Unloading

1. Penghisap dari *solenoid* (Y1) menutup suplai dari tekanan *receiver* kearah *chamber* (8).

2. Kendali tekanan yang terdapat di *chamber* (8) dikeluarkan ke atmosfer melalui katup *solenoid* (Y1). Katup *unloading* menutup oleh gaya pegas.
3. Katup (12) didorong kebawah melepaskan tekanan *receiver* melewati *flexible* (30) dan saluran (10 dan 42) ke arah *air inlet*
4. Sebuah aliran kecil dari sisa udara dipaksa masuk melewati lubang (9) dan saluran (10), dan dibuang dari *receiver* (17) melalui *flexible* (30) ke *air inlet*.
5. pengangkutan udara dihentikan (0%). Kompresor beroperasi *unload*

11.1.2 Konstruksi Kompresor *Screw*

Ciri-ciri standar konstruksi kompresor *screw type* terdiri dari :

1. *Inlet Air Filter*

Udara yang akan memasuki mesin harus melalui *filter*, agar udara yang dihisap oleh kompresor benar-benar bersih dari partikel-partikel debu, air dan lainnya sehingga diharapkan mesin tidak cepat rusak karena kotoran yang ikut masuk.

Filter udara yang kotor dapat mengurangi aliran udara yang masuk dan mengakibatkan kapasitas kompresor menurun. Disamping itu penghisapan udara yang terus menerus melalui *filter* yang kotor dapat mengakibatkan rusaknya penyaring atau berlubang dengan sendirinya.

2. Elemen Kompresor

Elemen kompresor pada dasarnya terdiri dari sepasang *rotor*, *rotor male* dan *rotor female*. *Rotor male* dan *rotor female* dibuat sedemikian rupa bentuknya sehingga tidak terjadi persentuhan antara keduanya. Juga tidak ada persentuhan antara *rotor* dan rumahnya. Dengan konstruksi ini, kerugian mekanis yang terjadi relatif kecil.

Untuk itu kedua *rotor* dibuat dengan ketelitian yang tinggi untuk memperoleh kelonggaran yang berlebihan antara lekuk dengan tonjolan *rotor*. Disamping itu roda-roda gigi sekecil mungkin kelonggarannya. Dapatlah dimengerti, bahwa setelah dipakai cukup lama roda gigi itu akan mengalami keausan sehingga terjadi kelonggaran pada bagian belakang (*backlash*). Bila

hal ini terjadi, maka persentuhan antara lekuk dan tojolan antara dari kedua *rotor* tak dapat dihindari.

Untuk mencegah kebocoran udara melalui sela-sela antara lekuk dan tonjolan, minyak pelumas disemprotkan kedalam ruang kompresor ini. Minyak pelumas ini akan menutup sela-sela tersebut sekaligus menyerap sebagian panas yang terjadi dalam proses kompresi. Tentu saja minyak pelumas akan bercampur dengan udara yang keluar pada sisi tekan. Udara yang bercampur dengan minyak pelumas ini akan dialirkan kedalam *separator* atau pemisah. Disini minyak pelumas dipisahkan dari udara.

3. *Air End*

Udara mengalir kedalam ruangan besi tuang yang didalamnya terdiri dari dua *rotor spiral*, yaitu satu *male rotor* dan satunya *female rotor* yang dipasang sejajar terhadap poros.

Banyak sedikitnya udara yang masuk diatur oleh katup *butterfly*. *Male rotor* mempunyai empat kuping (*lobe*) yang masing-masing *lobe* mempunyai sudut 90° , sedangkan *female rotor* yang disatukan dengan *housing* bertindak sebagai piston. Jika motor mulai berputar, maka udara dihisap kekantong aluran (*inlet*) dan mengalir kebawah melalui aliran aluran *female rotor* sehingga terjadilah kompresi.

Setelah kuping (*lobe*) dari *male rotor* itu mencapai bagian ujung aluran, udara diinjeksikan melalui lubang *outlet (discharge)*. Selama ada kompresi campuran udara dan oli bercampur melalui *check valve* yang akan menghindari dari setiap aliran kembali (*back flow*) ke *inlet* jika mesin berhenti.

4. *Receiver Separator Tank*

Campuran udara dan oli yang dikompresikan diatur supaya mengalir ke tangki penerima/pemisah (*receiver separator tank*) dimana campuran tadi berputar diruang secara sentrifugal. Gaya berat digabungkan dengan kekuatan sentrifugal, memisahkan sebagian besar oli dengan udara.

Udara mengalir melalui sederet pelat dan tetesan oli masih pula dipisahkan. Aliran udara yang berupa kabut halus kemudian mengalir ke

elemen *separator*. Elemen ini mempunyai dua lapisan yang terbuat dari serat yang dibungkus rapat atau kelat, setiap lapisan oleh pelat kasa yang terbuat dari baja.

Aliran udara dipaksakan melalui lapisan pertama, tetesan oli kecil terpisah dan jatuh ke dasar tangki penerima (*receiver tank*). Pada lapisan kedua meneruskan proses pemisahan dari oli yang belum terpisah dari lapisan pertama, sehingga udara yang keluar dari lapisan kedua sudah terbebas dari oli, sedangkan oli yang terpisah dari lapisan pertama dan kedua dikeluarkan melalui pipa bilas (*scavenging line*) menuju ke *inlet*.

5. Oil Pump

Pada sistem sirkulasi oli aliran dilakukan oleh sebuah pompa keseluruhan mesin. Jenis pompa oli yang digunakan adalah pompa transmisi (*gear pump*). Pompa oli ini digerakkan satu poros dengan *male rotor*.

Oli dihisap dari *receiver tank* dan disirkulasikan melalui *oil cooler*, *oil filter* dan masuk ke ruang *rotor* dan *bearing-bearing*.

Sirkulasi oli berfungsi:

- a. Sebagai pendingin atau mempertahankan kenaikan suhu selama proses kompresi terjadi.
- b. Sebagai perapat (*scaling*) terhadap rotor dan housing.
- c. Sebagai pelumasan.
- d. Sebagai penggerak hidrolik silinder dalam sistem pengaturan kapasitas.

6. After Cooler dan Oil Cooler

Aliran udara yang keluar dari *receiver tank* yang sudah bebas oli mengalir menuju ke *after cooler*, sedangkan oli yang dari *receiver tank* dipompa menuju ke *oil cooler*. Antara *after cooler* dan *oil cooler* memiliki fungsi yang sama yaitu mendinginkan.

After cooler dan *oil cooler* adalah sebuah tabung baja yang berisikan sejumlah pipa-pipa (*tube*) yang terbuat dari tembaga atau kuningan. Air pendingin mengalir ke dalam tabung baja (*shell*) dan bersinggungan dengan bagian luar pipa-pipa tembaga, sementara udara atau oli yang didinginkan



mengalir dibagian dalam pipa-pipa (*tube*). Air pendingin ini disirkulasikan disepanjang pipa-pipa (*tube*).

7. Komponen Pengatur dan Pengaman

Komponen pengatur dan pengaman terdiri dari:

1. Komponen pengatur:

- a. *Butterfly valve*, mengatur jumlah udara yang masuk kedalam kompresor.
- b. *Pressure regulator*, mengatur tekanan udara yang menutup *butterfly valve* secara otomatis.
- c. *Solenoid valve*, mengatur arah aliran udara atau oli dalam sistem pengaturan kapasitas yang dikontrol oleh sistem listrik.
- d. *Pressure switch*, kontak dalam rangkaian sistem listrik yang bekerja karena mendapat tekanan.

2. Komponen pengaman:

- a. *Check Valve*, mencegah aliran kembali.
- b. *Safety relief valve*, mengurangi atau membuang tekanan dalam sistem, jika tekanan melampaui batas maksimum.
- c. *Safety shutdown*, menghentikan motor apabila suhu udara keluar melebihi batas maksimum.

II.2. Dasar Pelumasan

II.2.1. Bahan Dasar Minyak Pelumas

Melumasi suatu mesin atau sitem yang bergerak telah banyak dilakukan orang sejak ribuan tahun yang lalu. Hal ini diketahui dengan bermacam-macam sistem gerak yang antara lain adalah kereta dan gerobak yang sudah lama digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Maksud dari sistem gerak disini adalah alat atau kendaraan yang dapat diputar atau digeser untuk keperluan tertentu.

Dijaman dahulu sistem gerak digunakan itu tentunya memerlukan perawatan demi keawetan penggunaannya. Didalam merawat bukan saja dengan hanya membersihkan dan mengganti bagian-bagian yang rusak tetapi juga



memberinya pelumas pada celah-celah yang bergeseran dan ditempat-tempat lainnya dari sistem gerak tersebut. Tentu saja minyak pelumas yang digunakan belumlah sama dengan minyak pelumas yang saat ini digunakan pada kendaraan motor kita, namun demikian yang perlu kita ketahui bahwa melumasi suatu sistem gerak bukanlah masalah baru bagi kita.

Bahan-bahan pelumas yang digunakan sejak jaman dahulu hingga kini mempunyai beraneka ragam jenis yang biasanya bergantung pada bahan apa yang paling banyak tersedia dan mudah diperoleh. Sebenarnya menurut bahan-bahan yang dapat dibuat menjadi minyak pelumas dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Bahan yang berasal dari hewan yang sebagai contohnya adalah minyak atau lemak ikan, lemak sapi, lemak kambing dan lain sebagainya. Bahan pelumas dari hewan ini diperkirakan merupakan pelumas yang paling tua umurnya.
2. Bahan dari tumbuh-tumbuhan yang contohnya antara lain adalah minyak jarak, minyak kelapa, minyak biji kapas.
3. Bahan yang berasal dari bahan tambang. Bahan hasil tambang atau bahan mineral yang dapat menghasilkan minyak yang dapat digunakan sebagai minyak pelumas terdiri dari banyak macamnya antara lain adalah minyak bumi dan batu bara. Sebagai minyak dari pengolahan minyak bumi. Minyak pelumas yang berasal dari minyak bumi ini dikenal sebagai minyak mineral.

Pada mulanya hanya bahan-bahan yang berasal dari hewan dan tumbuh-tumbuhan saja yang digunakan sebagai bahan minyak pelumas. Tetapi dengan ditemukannya sumur minyak bumi yang pertama kalinya di Amerika Serikat (yang dikerjakan secara teknologi modern), yang selanjutnya minyak bumi yang diperoleh itu diolah dengan menghasilkan bahan bakar dan bahan yang dapat digunakan sebagai minyak pelumas serta bahan lainnya. Maka sejak dari itu mulailah bahan tambang digunakan orang sebagai bahan dasar untuk membuat minyak pelumas.

Sejak itu pula bahan dari hewan dan tumbuh-tumbuhan mulai jarang digunakan orang sebagai bahan dasar pembuat minyak pelumas. Dan sebaliknya fraksi dari hasil pengolahan minyak bumi menjadi minyak pelumas terus meningkat. Hal itu berlanjut terus hingga saat ini dimana hampir seluruh minyak pelumas yang diperdagangkan menggunakan dasar minyak mineral

Disamping itu ada juga fraksi minyak pelumas yang berasal dari bahan mineral lain seperti batubara dan *oil shale* seperti telah disinggung sebelumnya tetapi itu masih jarang dilakukan orang.

II.2.2. Minyak Mineral

Seperti telah disinggung minyak pelumas yang diperoleh dari hasil pengolahan bahan tambang atau bahan mineral disebut minyak mineral. Tetapi oleh karena baru minyak bumi saja yang ekonomis dalam pengolahannya maka istilah minyak mineral adalah identik dengan minyak pelumas yang berasal dari pengolahan minyak bumi.

Seperti telah disinggung pula minyak mineral merupakan minyak yang paling banyak digunakan sebagai minyak pelumas, hal ini oleh karena minyak mineral mempunyai kemampuan dan kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya. Kemampuan dan kelebihan itu dapat disebut antara lain sebagai berikut:

- a. Untuk saat ini harganya paling murah dan dapat dikatakan masih banyak tersedia. Walaupun harga minyak bumi terus menanjak, dibandingkan dengan bahan lainnya harganya masih jauh lebih murah.
- b. Suhu kemampuan operasinya cukup lebar untuk dapat melayani penggunaan didalam industri maupun otomotif/kendaraan.
- c. Sifat-sifat kimia dan fisiknya mudah dikontrol oleh pabrik maupun oleh instansi yang berwenang.
- d. Bahan tidak beracun.
- e. Mudah dicampur dengan bahan kimia lain seperti bahan penambah yang dikenal dengan nama aditif. Dengan maksud untuk meningkatkan kemampuan unjuk kerjanya.
- f. Tidak merusak sekat (*seal*) dan saluran (*gland*).
- g. Mempunyai selang waktu yang ekonomis dalam melayani mesin.

Sampai saat ini minyak mineral merupakan bahan yang paling memenuhi syarat pelumasan yang antara lain adalah mempunyai gesekan yang rendah, memberikan perlindungan terhadap terjadinya korosi dan merupakan penghantar panas yang baik.

Bahan mineral minyak bumi yang merupakan bahan yang dapat menghasilkan bahan bakar dan minyak pelumas mayoritasnya terdiri dari elemen-elemen hidrogen dan karbon. Hidrogen dan karbon merupakan elemen-elemen organik yang membentuk ikatan yang dikenal dengan nama hidrokarbon. Elemen-elemen hidrokarbon ini kebanyakan berasal dari tumbuh-tumbuhan.

Apabila ditinjau asal-usul minyak bumi, sampai saat ini belum jelas, tetapi menurut teori yang dapat diterima oleh semua pihak menyatakan bahwa bahan-bahan organik itu berasal dari tanaman-tanaman yang berada didarat maupun dilaut yang terjebak dan terjepit oleh lapisan batuan. Dengan perlahan-lahan tumbuh-tumbuhan tersebut mengalami perubahan-perubahan selama jutaan tahun, yang akhirnya berubah bentuk menjadi minyak mentah atau *crude oil* seperti sekarang yang kita jumpai.

II.2.3. Komposisi Minyak Mineral

Secara umum minyak bumi yang hampir seluruhnya merupakan ikatan hidrokarbon itu dapat dibagi dalam tiga bagian yaitu :

1. Minyak bumi jenis *parafinik*, jenis minyak bumi ini hidrokarbon-nya mempunyai rumus bangun berbentuk lurus dan dapat bercabang.
2. Minyak bumi jenis *naftenik* atau *sikloparafin*, jenis minyak bumi ini merupakan ikatan hidrokarbon yang rumus bangunnya membentuk suatu rangkaian tertutup atau siklus.
3. Minyak bumi jenis *aromatik*. Jenis minyak bumi ini rumus bangun dari ikatan hidrokarbon-nya merupakan ikatan tertutup dari benzene bersama dengan derivatif-derivatifnya.

Ikatan hidrokarbon tidak jenuh seperti *olefin* secara alamiah tidak ada pada minyak mentah, tetapi ikatan ini terbentuk pada saat proses rengkahan (*cracking*) atau proses lainnya didalam pengolahan. Dengan demikian dapatlah diduga bahwa, pada minyak pelumas yang berasal dari minyak bumi terkandung cukup rumit molekul-molekul hidrokarbon kompleks. Dari satu macam jenis minyak bumi katakanlah itu jenis *parafinik* akan tetap terkandung jenis-jenis yang lain seperti jenis *naftenik* dan *aromatik* walaupun dalam jumlah sedikit. Jadi suatu molekul

hidrokarbon dari suatu minyak pelumas akan sangat kompleks karena kemungkinan bisa terdiri dari ketiga jenis rumus bangun ikatan hidrokarbon.

Disamping pembagian jenis seperti tersebut diatas minyak mentah itu sendiri mempunyai sifat-sifat khusus yang bergantung dari lokasi dimana minyak mentah itu diperoleh.

Dengan banyaknya jenis dan sifat-sifat khusus dari minyak bumi itu mengakibatkan timbulnya masalah yang agak sulit didalam menentukan sifat-sifat fisika dan kimia secara seragam.

II.2.4. Sifat Minyak Mineral

Dari minyak pelumas mineral atau minyak pelumas hidrokarbon yang merupakan campuran kompleks ikatan organik yang juga diperkompleks lagi dengan unsur-unsur anorganik jelas mempunyai sifat-sifat kimia dan fisika yang banyak variasi dan jumlahnya.

Apabila hanya suatu analisa kimia lengkap saja yang diperoleh hal ini hanyalah merupakan parameter sebagian kecil saja yang diperlukan oleh seorang ahli minyak pelumas. Biasanya hasil analisa tersebut hanyalah diperlukan prodaktor sebagai sebagian alat pengontrolnya. Demikian juga halnya apabila analisa fisika saja yang lengkap.

Jadi bagaimanapun juga akan banyak sifat-sifat yang diperlukan yang meliputi semua sifat fisika dan kimia bagi seorang ahli minyak pelumas apabila ingin mengadakan perumusan ataupun pilihan yang jitu pada beberapa alternatif minyak pelumas untuk penggunaan tertentu. Untuk tujuan tersebut sifat-sifat penting yang perlu diketahui antara lain sebagai berikut:

1. Warna
2. Oksidasi
3. Keasaman
4. Korosifitas
5. Emulsifikasi
6. Titik Nyala
7. Titik Kabut dan Titik Tuang
8. Kandungan Air dan Sedimen





9. Berat Jenis dan Gravitasi Spesifik

10. Panas Jenis

Sebenarnya tidak saja sifat-sifat kimia dan fisika seperti yang tersebut di atas, tetapi masih ada parameter lain yang cukup penting untuk dilengkapi sebagai penyempurnaan data minyak pelumas. Parameter itu adalah hasil pengujian minyak pelumas pada bangku uji dan pada pengujian dijalanan. Untuk sementara marilah kita tinjau sifat-sifat fisika dan kimia dari minyak pelumas itu.

II.2.4.1. Warna

Warna pada minyak pelumas biasanya merupakan tanda pengenal saja, kecuali pada penggunaan tertentu. Minyak pelumas mempunyai beberapa warna, mulai dari warna bening (*transparent*) sampai dengan warna gelap. Warna-warna tersebut diantaranya adalah kuning, merah, dan biru. Oleh karena refleksi sinar, beberapa minyak memberikan warna hijau. Biasanya hal-hal tertentu warna dari suatu minyak dapat menunjukkan jenis minyaknya, seperti jenis *parafin* memberikan warna kehijau-hijauan. Sedangkan *naftenik* memberikan warna kebiru-biruan.

Dari proses pengolahan minyak bumi umumnya dapat ditandai bahwa pada fraksi-fraksi yang mempunyai titik didih yang makin tinggi akan mempunyai warna makin gelap, atau dengan kata lain makin tinggi titik didihnya makin gelap warnanya. Hal ini disebabkan warna gelap alamiah dari ikatan fraksi berat seperti *heavy oil*, *asphalt* dan lain-lainnya yang tidak mudah menguap atau *volatile* yang cenderung untuk berkumpul pada fraksi titik didihnya tinggi. Penghilangan warna dapat saja dilakukan kalau diperlukan.

Banyak orang berpendapat bahwa warna pada minyak pelumas menunjukkan tingkatan unjuk kerja ataupun tingkatan viskositas dari minyak pelumas itu. Hal ini tidaklah benar, karena tidak ada perjanjian untuk mengklasifikasikan unjuk kerja maupun viskositas minyak pelumas yang dikonversikan dengan warnanya. Mungkin saja terjadi pada penggunaan khusus misalnya pada pabrik-pabrik yang menggunakan banyak macam minyak pelumas dimana perlu untuk membedakan jenisnya dengan diberi warna. Dengan warna

yang berbeda-beda untuk setiap jenis minyak pelumasnya maka kemungkinan keliru dalam mengambil minyak pelumas dapat diperkecil.

Pada prakteknya warna dapat digunakan sebagai pembanding antara minyak pelumas baru dan minyak pelumas bekas. Tingkatan kualitas minyak pelumas dibandingkan pada hasil pengujian warna pada waktu tertentu pada saat minyak pelumas itu melayani mesin uji. Tentunya dapat disimpulkan bahwa tingkatan dari minyak pelumas yang memberikan terjadinya perbedaan warna.

II.2.4.2. Oksidasi

Suatu reaksi kimia yang terjadi antara oksigen di udara dengan hidrokarbon dari minyak pelumas disebut dengan istilah oksidasi. Sebenarnya reaksi kimia dapat terjadi antara oksigen dengan semua produk minyak bumi. Sedangkan biasanya oksidasi yang terjadi pada minyak pelumas berlangsung sangat lambat dibawah kondisi suhu ruangan, tetapi kemudian akan dipercepat bila suhu naik sampai pada 200°F keatas.

Terjadinya reaksi oksidasi pada minyak pelumas merupakan suatu peristiwa yang tidak diinginkan. Hal ini karena hasil oksidasinya yang dapat larut maupun tidak dalam minyak pelumas, yang akan memberikan pengaruh negatif. Hasil oksidasi yang tidak larut yang berupa lumpur akan menyumbat dan merusak lubang-lubang saluran, pipa-pipa saluran, filter-filter dan lain-lainya dari sistem pelumasan. Sedangkan hasil oksidasi yang larut yang bersifat asam tetap ikut tersirkulasi didalam minyak pelumas pada saat melayani mesin. Sifat asam dari hasil oksidasi ini mempunyai pengaruh memberikan korosi terlebih lagi pada suhu tinggi. Asam ini dapat merusak permukaan bantalan dengan menimbulkan lubang-lubang atau menimbulkan deposit yang seperti lem (*varnish*) yang dapat melekatkan bagian-bagian penting dari sistem yang dilumasi.

Ketahanan suatu minyak pelumas terhadap terjadinya oksidasi banyak bergantung pada asal dari mana minyak mentahnya itu diperoleh dan dari cara pengolahannya. Tetapi bagaimanapun baiknya jenis minyak mentah dan cara pengolahan minyak pelumas itu, Belum dapat memenuhi kebutuhan operasi dari mesin kendaraan modern saat ini. Untuk itu kemajuan teknologi minyak telah menemukan cara untuk meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi dari minyak



pelumas yaitu dengan cara menambahkan *aditif* atau penambah, *aditif* yang ditambahkan ini dapat melipatgandakan ketahanan minyak pelumas terhadap oksidasi yang dikenal dengan *aditif* pelindung oksidasi (*oxidation inhibitor*). Dengan demikian hampir semua minyak pelumas yang diperdagangkan saat ini dapat diduga diberi *aditif* pelindung oksidasi. Kemampuan *aditif* ini untuk melindungi minyak pelumas dari terjadinya oksidasi adalah karena sifatnya yang cenderung untuk langsung mengikat oksigen didalam udara tidak sempat berhubungan dengan hidrokarbon dari minyak pelumas. Dengan cara tersebut jelas kemampuan *aditif* melindungi minyak pelumas ada batasnya, yaitu apabila *aditif* tersebut habis teroksidasi dengan oksigen dari udara.

Adapun hal yang paling mempengaruhi terjadinya oksidasi adalah lingkungan udara yang lembab. Makin lembab udara makin besar kemungkinan terjadinya oksidasi, oleh karena makin besar kandungan oksigennya. Disamping itu logam-logam seperti besi.

Banyak standar pengujian oksidasi untuk minyak pelumas dapat dilakukan baik dengan cara Amerika maupun Inggris. Tetapi bagaimanapun pengujian yang paling baik adalah pengujian yang menyamai kondisi penggunaan yang sebenarnya.

11.2.4.3. Keasaman

Bagaimanapun juga cermatnya proses pengolahan minyak mentah itu dilakukan, hasil dari fraksi minyak pelumas tetap masih mengandung sedikit asam. Hal ini oleh karena ada sedikit bagian organik yang tidak ternetralisasi selama proses pengolahan. Sejumlah kecil dari asam *intrinsik* ini sebenarnya tidak mengganggu secara fisika maupun kimia. Tetapi didalam tugas minyak pelumas itu melayani mesin, sejumlah kecil dari asam *intrinsik* ini memegang peranan penting di dalam menghimpun kontaminan dari luar ataupun hasil oksidasi yang kemudian menghimpun kumpulan asam menjadi aktif.

Keasaman dari minyak pelumas dinyatakan dalam angka netralisasi atau *neutralization number*, yang mana merupakan besaran berat dalam miligram dari kalium hidroksida (*potassium hidroksida*) yang diperlukan untuk menetralkan satu gram minyak pelumas. Bila terjadi angka netralisasi yang disebabkan bukan oleh



kontaminasi dari luar, hal ini membuktikan adanya asam yang aktif dari kurang sempurnanya proses pengolahan. Sifat dari asam pada umumnya adalah korosif terhadap logam. Oleh karena itu keasaman yang tinggi tidak diharapkan terjadi sebagaimana terjadinya oksidasi pada minyak pelumas.

II.2.4.4. Korosifitas

Beberapa ikatan sulfur terutama hidrogen sulfida dan polisulfida yang terkandung di dalam minyak mempunyai sifat korosi. Oleh karena itu di dalam proses pengolahan sulfat-sulfat tersebut diusahakan untuk dihilangkan atau dikurangi hingga mencapai kadar sulfat yang sesedikit mungkin.

Minyak pelumas yang biasanya digunakan untuk mengatasi terjadinya kontak antara logam dengan logam haruslah memiliki sifat anti korosi. Sifat anti korosi ini harus mampu melawan sifat korosi yang timbul.

Umumnya minyak pelumas yang baik harus bebas dari sulfur. Sifat korosi sulfur ini dapat menyerang dengan cepat logam-logam dari bantalan-bantalan yang ada di dalam mesin. Oleh karena itu tidak mengherankan kalau pengujian korosifitas sulfur dilakukan berulang kali, baik pada saat proses penghilangan maupun pada produk yang sudah jadi. Untuk masalah sifat korosifitas ini dilakukan beberapa pengujian antara lain:

1. Pengujian korosi tembaga atau *copper corrosion test*. Merupakan salah satu syarat pengujian seperti pada beberapa minyak yang digunakan pada mesin yang menggunakan logam *nonferrous* dan minyak pelumas yang digunakan di dalam bantalan roll yang juga menggunakan logam *nonferrous*.

Minyak pelumas untuk roda gigi hipoid, yang kerap kali mengandung sulfur untuk karakteristik kondisi tekanan ekstrim, haruslah non korosif, hal ini untuk menghindari terjadinya pengelupasan (*pitting*)

2. Pengujian korosifitas baja atau *corrosion steel test*, adalah pengujian yang digunakan untuk menguji kemampuan dari minyak pelumas terhadap aktifitas korosi dari air pada bagian yang berbahan *ferrous*.

Bila minyak yang diuji tidak dapat membasahi seluruh permukaan logam dari bahan *ferrous* yang ditentukan, maka kemungkinan dapat terjadi korosi akibat adanya pengumpulan *ferooksida* dalam jumlah yang cukup untuk menahan

merambatnya minyak pelumas yang diuji untuk membasahi semua permukaan logam.

II.2.4.5. Emulsifikasi

Apabila minyak mineral murni dicampur dengan air murni di dalam waktu yang singkat dengan jelas akan terjadi pemisahan. Walaupun demikian, apabila minyak terkontaminasi (terkotori) kekuatan tingkat pemisahannya akan menurun, disamping itu terjadi emulsi air di dalam minyak. Kontaminasi terjadi pada minyak dikarenakan oleh bahan-bahan yang datang dari luar maupun dari dalam mesin, seperti partikel-partikel logam, partikel-partikel debu, sejumlah asam, logam-logam alkali dan lain sebagainya.

Minyak pelumas untuk mesin turbin uap (*steam turbine*) biasanya terkontaminasi oleh uap air yang kemudian terkondensasi dan yang pada hakekatnya akan terpisah dengan cepat dari minyak pelumasnya. Selain daripada itu, endapan yang berupa lumpur akan terbentuk yang kemudian yang akan dapat menyumbat saluran minyak dan pompa.

Sebaliknya secara sengaja ada industri-industri minyak tertentu yang mengformulasikan minyak pelumas dengan emulsi yang kuat. Contohnya adalah minyak yang dapat larut dalam air atau *emulsiabile* yang digunakan di bengkel-bengkel sebagai minyak untuk memotong (*cutting oil*) dan untuk mengasah (*grinding*) besi. Pada masalah ini fungsi minyak pelumas beremulsi terutama sebagai pendingin disamping sebagai pelumas pada alat yang digunakan. Pada dasarnya *demulsibilitas* tidak banyak mendapat perhatian di dalam pengembangannya terutama pada masalah kontaminasi yang terjadi pada motor bakar. Saat ini industri-industri memberikan banyak perhatian pada penggunaan *aditif-aditif* seperti *aditif* antioksidasi dan anti korosi. *Aditif-aditif* ini memberikan pengaruh yang cukup besar pada minyak pelumas dengan mengurangi sifat *demulsibilitasnya*.

Angka demulsifikasi (*demulsification number*) dari suatu minyak ditentukan dari pengujian standar yang mana didefinisikan sebagai :

Penentuan waktu dalam detik yang diperlukan oleh suatu volume yang diberikan untuk memisah dari volume yang sama uap air yang terkondensasi.

II.2.4.6. Titik Nyala

Titik nyala atau *flash point* dari suatu minyak adalah suhu terendah dimana minyak dipanasi dengan peralatan standar menghasilkan uap yang dapat dinyalakan dalam pencampurannya dengan udara.

Titik nyala secara prinsip ditentukan untuk mengetahui bahaya terbakarnya produk-produk minyak bumi. Dengan diketahuinya titik nyala suatu produk minyak pelumas, kita dapat mengetahui kondisi maksimum yang dapat dihadapi minyak pelumas tersebut. Salah satu contoh dari pentingnya informasi ini adalah untuk menentukan jenis minyak pelumas yang tepat untuk digunakan di dalam sistem hidrolik tekanan tinggi seperti pada pesawat terbang atau pada alat penempa bertekanan tinggi, dimana kebocoran minyak dari saluran pipa dapat menyebabkan terjadinya musibah dengan adanya dari minyak yang tumpah dengan logam yang sangat panas.

Titik nyala merupakan sifat fisika yang sangat penting yang harus diketahui dari produk-produk hasil pengolahan minyak bumi, baik itu minyak pelumas, bahan bakar maupun produk lainnya dengan diketahuinya titik nyala suatu produk minyak kita akan dapat menerapkan produk tersebut dengan tepat. Hal ini berarti akan memberikan perlindungan pada mesin yang menggunakan dan memberikan keamanan pada orang yang menanganinya.

II.2.4.7. Titik Kabut dan Titik Tuang

Minyak bumi atau minyak mineral seperti telah diutarakan, merupakan campuran dari banyak ikatan kimia, dimana hal ini menjadikan minyak bumi tidak mempunyai titik beku yang pasti bila didinginkan dengan suhu yang cukup rendah minyak tersebut akan menjadi bentuk padat seperti plastik yang mana merupakan formasi kristal padat atau hidrokarbon beku. Untuk ini titik kabut (*cloud point*) didefinisikan sebagai :

Suhu terendah dimana minyak pelumas masih dapat dituang dibawah kondisi tersebut. Titik tuang mempunyai arti yang sangat besar bagi minyak pelumas dan minyak pelumas hidrolik terutama pada instalasi dan pada penggunaan suhu rendah. Masalah titik kabut dan titik tuang terutama banyak dihadapi oleh negara-

negara beriklim sedang dimana banyak mengalami suhu rendah dimusim dinginnya.

II.2.4.8. Kandungan Air dan Sedimen

Air pada dasarnya sangat sedikit dapat melarut pada minyak pelumas (sekitar 0,004 % dari suhu normal). Terpisah dari formulasi khusus emulsi adanya air di dalam minyak pelumas sangat tidak spesifik air, air akan sulit untuk dipisahkan.

Sedimen secara normalnya tidak terkandung di dalam minyak mineral, tetapi dapat saja masuk pada saat transportasi dan kontaminasi dari tangki, saluran pembagi dan sumber-sumber masuk sedimen lainnya. Walaupun jumlahnya sedikit, tetapi dapat memberikan tendensi tersumbatnya saluran pipa dan terkumpulnya sedimen-sedimen itu didasar tangki. Biasanya mudah untuk menghilangkannya yaitu dengan memberikan saringan (*filter*) atau *centrifuge*.

II.2.4.9. Kerapatan dan Gravitasi Spesifik

Kerapatan mempunyai dimensi ML^{-3} yang merupakan massa per unit volume pada suhu dan tekanan tertentu, dan untuk minyak pelumas adalah di dalam $gram/cm^3$ (untuk referensi air 4° C dan tekanan 76mmHg mempunyai kerapatan – 1 $gram/cm^3$)

Gravitasi spesifik adalah suatu kuantitas dimensi yang dinyatakan dalam tandingan kerapatan dari minyak dengan kerapatan air pada suhu yang ditentukan. Pada industri perminyakan, gravitasi spesifik dari minyak ditentukan pada suhu 60°F. Jadi suatu minyak mempunyai gravitasi spesifik 60°F, adalah menyatakan bahwa kerapatan minyak pada 60°F dibagi dengan kerapatan air pada 60°F. umumnya minyak pelumas mempunyai gravitasi spesifik 60°F/60°F. Diantara 0,85 dan 0,90. Bila gravitasi spesifik pada 60°F diketahui maka, gravitasi spesifik pada suhu yang lain yaitu t°F dapat dihitung dari rumus berikut ini :

$$S_t = S_{60} - c(t - 60) \quad (2-1)$$

Dimana c adalah koefisien pengembangan tiga dimensi dari minyak per °F.

Harga rata-rata γ secara normal dari minyak pada kenaikan suhu 0,00036. Gravitasi spesifik dari suatu minyak biasanya sangat mendekati harga kerapatannya dalam dimensi gram/cm^3 .

Kerapatan merupakan besaran yang sangat penting dalam penghitungan viskositas absolut dari pembacaan viskometer jenis tertentu. Hal ini tidaklah memberikan pengaruh langsung pada karakteristik dari minyak pelumas.

Di Amerika Serikat, gravitasi spesifik biasanya diganti dengan gravitasi yang dinyatakan dalam derajat API (*American Petroleum Institute*). Hubungan antara keduanya adalah :

$$\text{API}^\circ = \frac{141,5}{\text{Grav. Sp. } 60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}} - 131,5 \quad (2-2)$$

Dengan demikian Gravitasi Spesifik dapat dinyatakan dalam Gravitasi API.

II.2.4.10. Panas Jenis dan Konduktifitas Panas

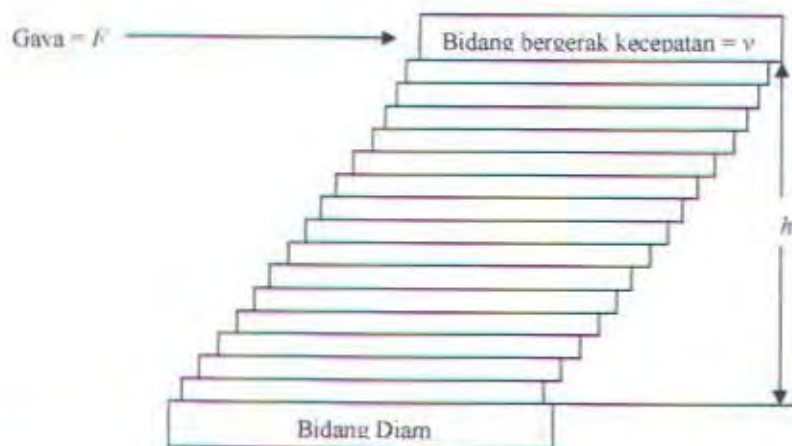
Diketahuinya panas jenis dan konduktifitas panas diperlukan dalam penggunaan dimana minyak bekerja sebagai pendingin dan media perambat panas disamping sebagai pelumas. Pada suhu 60°F (16°C) hampir semua jenis minyak mineral (relatif terhadap panas jenis air) diantara 0,44 disamping 0,48. Konduktifitas panasnya sekitar $3 \times 10^{-4} \text{ kal/cm.s}^\circ\text{C}$.

Kedua harga ini tidaklah terlalu peka terhadap perubahan suhu dan untuk penggunaan praktis tertentu biasanya dianggap konstan.

Tetapi tidaklah demikian pada penggunaan minyak sebagai media perambat panas pada sistem tertutup. Panas jenis dan konduktifitas panas haruslah benar-benar diperhitungkan.

II.2.5. Viskositas

Sifat fisika terpenting dari minyak pelumas yang perlu diketahui adalah viskositasnya. Viskositas dapat dinyatakan sebagai suatu tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara molekul-molekul cairan satu dengan lainnya.



Gambar 4 Bidang yang menggambarkan aliran viskos dari Fluida Newtonian.

Setiap lapisan tersebut akan memberikan Tegangan Geser = F/A yang uniform. Dengan kecepatan selaput fluida yang paling atas = v dan kecepatan lapisan fluida yang paling bawah = 0 , maka kecepatan fluida = v pada lapisan minyak pada suatu tempat pada jarak y dari bidang stasioner (bidang tetap).

Kecepatan geser dari lapisan ini menjadi: $\frac{dv}{dy}$ (2-3)

Dengan tidak adanya Tekanan Fluida maka $\frac{dv}{dy} = \frac{V}{h}$ (2-4)

Besaran-besaran tegangan Geser = s dan Kecepatan Geser = R merupakan besaran-besaran yang konstan dari aliran minyak itu. Dapat diperlihatkan secara eksperimen bahwa kedua besaran itu saling berhubungan dengan perbandingan sebesar η , yang mana adalah merupakan besar tahanan dari minyak untuk mengalir, yaitu :

$$s = \eta R \text{ atau } \eta = \frac{s}{R} = \frac{\text{Teg.Geser}}{\text{Kec.Geser}} \quad (2-5)$$

dimana η didefinisikan sebagai Viskositas Absolut atau Viskositas Dinamika dari suatu minyak pelumas.

II.2.5.2. Pengaruh Suhu Pada Viskositas

Kenaikan suhu atau penurunan tekanan akan berakibat melemahkan ikatan molekul fluida serta menurunkan viskositasnya. Viskositas dari semua jenis cairan



akan menurun dengan naiknya suhu. Ini jelas terlihat pada minyak pelumas yang berasal dari minyak bumi.

Perubahan viskositas dikarenakan perubahan suhu merupakan hal yang sangat penting yang harus dipertimbangkan di dalam berbagai jenis penerapan minyak pelumas didalam tugasnya menghadapi jangkauan suhu yang sangat luas. Sebagai contohnya minyak pelumas karter dari mesin kendaraan bermotor. Bila kita menggunakan minyak pelumas karter yang viskositasnya rendah akan kurang aktivitas minyak pelumas tersebut didalam melindungi bagian-bagian logam mesin kendaraan saat mesin dihidupkan, karena akan menurun lagi viskositasnya saat suhu menanjak.

Tetapi bila kita menggunakan minyak pelumas yang viskositasnya tinggi, kita akan menghadapi kesulitan saat mula-mula menghidupkan mesin, setidaknya *accu* akan bekerja keras untuk dapat menghidupkan; terlebih lagi apabila suhu lingkungan sangat rendah

Secara umum yang diharapkan dari suatu minyak pelumas adalah perubahan yang sekecil mungkin yang terjadi pada viskositasnya didalam menghadapi pengaruh jangkauan suhu yang besar.

Terjadinya perubahan viskositas karena pengaruh perubahan suhu tak ada dasar hubungan matematikanya. Hal ini dapat dimengerti karena minyak pelumas yang berasal dari minyak bumi mempunyai banyak variasi yang tergantung pada lokasi dari mana minyak bumi itu berasal. Tetapi pada umumnya untuk produk yang berasal dari minyak bumi hubungan antara Viskositas Kinematis dengan perubahan suhu dapat dinyatakan secara empiris sebagai berikut :

$$\text{Log}_a \log_m (v - 0,7) = A + B \log T \quad (2-6)$$

Dimana v = Viskositas Kinematika, cST

T = Suhu Termodinamika, K (Kelvin)

$$K = ^\circ\text{C} + 273$$

A, B = Konstanta-konsanta spesifik untuk minyak

Persamaan diatas dikenal dengan nama Persamaan Walther yang merupakan dasar dari Tabel dan Grafik hubungan viskositas dengan suhu yang diterbitkan oleh *American Society for Testing and Materials (ASTM)*.



Suatu cairan yang dapat mengalir dengan mudah misalnya fluida air dapat dikatakan mempunyai viskositas kecil dan sebaliknya pada bahan-bahan yang sulit mengalir seperti aspal mempunyai viskositas yang besar.

II.2.5.1. Hukum Newton Untuk Aliran Viskos

Suatu aliran fluida diandaikan sebagai lapisan-lapisan fluida tipis yang bergesekan satu dengan lainnya merupakan penggambaran dari aliran viskos oleh Newton. Pada hukum aliran viskos ini, Newton menyatakan hubungan antara gaya-gaya mekanika dari suatu aliran sebagai berikut :

“Geseran dalam (viskositas) fluida adalah konstan sehubungan dengan gesekannya (shear)”.

Untuk fluida-fluida yang mengikuti hukum ini dinamakan fluida newtonian (*newtonian fluids*). Pada prakteknya tidak semua mengikuti hukum ini, tetapi pada umumnya sebagian besar fluida dalam penggunaan praktis sesuai dengan teori hidrodinamika yang merupakan fluida *newtonian*. Banyak dalam pelumasan terutama pada masalah-masalah yang berhubungan dengan pemompaan dan distribusi minyak pelumas yang melalui saluran pipa dan perencanaan bantalan hidrodinamika diperlukan pengetahuan viskositas yang benar-benar mendalam. Untuk dapat memahami aliran viskos dapat diperhatikan gambar 4 yang melukiskan suatu permukaan tetap (bidang) tetap dengan lapisan-lapisan selaput dari pelumas setebal h dan yang dibatasi oleh permukaan bidang yang bergerak dengan luas A dan kecepatan v . Sedangkan gaya yang diperlukan untuk menggerakkan bidang sebesar F . Kemudian diandaikan bahwa bidang yang bergerak itu ringan, yang berarti tidak memberikan beban, jadi tidak ada tekanan fluida pada lapisan fluida minyak. Bayangkanlah bahwa dengan bergesernya lapisan atas dengan kecepatan fluida v , fluida tersebut membentuk lapisan-lapisan yang saling bergesekan oleh gaya F .

II.2.5.3. Indeks Viskositas

Seperti telah dinyatakan bahwa kepekaan dari suatu minyak pelumas terhadap suhu merupakan hal yang sangat penting. Untuk menerangkan hubungan ini biasanya digunakan angka empiris yang dinamakan Indeks Viskositas atau IV. Angka tersebut menunjukkan bahwa bertambah besarnya angka IV akan bertambah kecil perubahan viskositasnya terhadap perubahan suhu.

Pada mulanya penentuan Indeks Viskositas ini dilakukan oleh Dean dan Davis pada tahun 1929 di Amerika Serikat. Caranya adalah dengan mengambil dua grup minyak bumi yaitu jenis *Pennsylvania* dan jenis *Gulf Coast*.

Jenis *Pennsylvania* merupakan jenis yang kecil perubahan viskositasnya terhadap perubahan suhu dan jenis ini ditentukan sebagai grup pembanding yang IV-nya = 100, sedangkan untuk jenis *Gulf Coast* yang sangat besar perubahan viskositasnya terhadap perubahan suhu sebagai grup pembanding yang terkecil dengan IV-nya = 0.

Pada gambar 5 dilukiskan cara mencari IV dari suatu minyak yang besarnya antara IV = 0 sampai dengan IV = 100. Viskositas Kinematika dari minyak yang dipertimbangkan ditentukan pada 100° C. Minyak referensi yang diduga dipilih hingga mempunyai viskositas yang sama pada 100° C dengan minyak yang dipertimbangkan. Kemudian IV dihitung dari ketiga minyak ini dengan harga viskositas pada 40° C dengan persamaan:

$$IV = 100 \left(\frac{U - H}{L - H} \right) \quad (2-7)$$

$$IV = 100 \left(\frac{U - H}{D} \right) \quad (2-8)$$

Dimana IV = Indeks Viskositas

U = Viskositas Kinematika (cST) pada 100° C dari minyak yang minyak yang dicari IV-nya

L = Viskositas kinematik (cST) pada 40° C dari minyak pelumas yang IV = 0, yang mempunyai viskositas pada 100° C dengan minyak yang IV-nya dicari.

H = Viskositas Kinematika (cST) pada 40° C dari minyak yang IV = 100 yang mempunyai viskositas kinematika

yang sama pada 100° C dengan minyak yang dicari IV-nya.

$$D = L - H$$

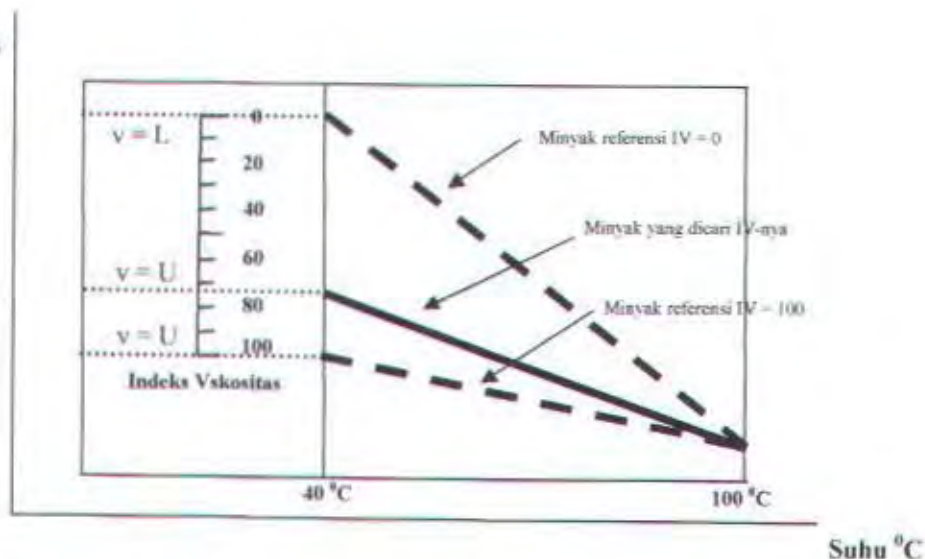
Indeks Viskositas ini dapat pula dicari dengan cara yang sama untuk suhu 100° F dan 210° F. Dimana suhu-suhu tersebut merupakan suhu digunakan sebelum Unit Sistem Internasional digunakan.

Ada beberapa minyak pelumas seperti minyak pelumas multigrade mempunyai Indeks Viskositas lebih besar dari 100. Untuk menghitung IV dari minyak ini dilakukan dengan cara menentukan Viskositas Kinematika pada 40° C yang akan lebih kecil daripada harga terendah H untuk viskositas yang lebih layak pada 100° C. Maka digunakan persamaan :

$$IV = [\{ \text{antilog } N \} - 1 \} / 0,00715] + 100 \quad (2-9)$$

$$IV = \left(\frac{10'' - 1}{0,00715} \right) + 100 \quad (2-10)$$

Viskositas kinematik
(cSt)



Gambar 5 Cara mencari indeks viskositas dari minyak yang diperkirakan IV nya antara IV = 0 dan IV = 100

$$N = \frac{\log H - \log U}{\log Y} \quad (2-11)$$

$$Y^N = \frac{H}{U} \quad (2-12)$$

dimana : IV = Indeks Viskositas

Y, H, U = Besaran seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

II.2.5.4. Pengaruh Tekanan Pada Viskositas

Biasanya tekanan akan memberikan pengaruh menaikkan viskositasnya. Tetapi kenaikan viskositas itu baru ada artinya bila tekanan yang diderita minyak pelumas itu cukup tinggi.

Hubungan antara tekanan dengan viskositas sangat bergantung kepada struktur kimia dari minyak pelumas sehingga kita tak dapat memberikan batasan yang umum yang lebih akurat seperti halnya hubungan antara suhu dan viskositas.

Suatu persamaan sederhana yang mempunyai harga cukup mendekati kebenaran dan yang banyak digunakan secara luas untuk pengaruh tekanan terhadap viskositas adalah sebagai berikut:

$$\eta_P = \eta_0 e^{\alpha P} \quad (2-13)$$

dimana η_P = Viskositas Dinamika pada tekanan P

η_0 = Viskositas tekanan pada tekanan atmosfer

P = Tekanan

α = Konstanta empiris yang bergantung pada suhu dan yang merupakan karakteristik dari minyak pelumas yang ditentukan

Disamping itu ada persamaan lain yang harganya lebih mendekati untuk hubungan tekanan terhadap viskositas yang meliputi juga ketergantungan terhadap suhu. Persamaan tersebut adalah:

$$\log \frac{\nu_P}{\nu_0} = \alpha'' P (10^{-4}) \quad (2-14)$$

dimana ν_P = Viskositas Kinematika, cSt pada tekanan P

ν_o = Viskositas Kinematika, cSt pada tekanan atmosfer

P = Tekanan, Psi

α = Konstanta yang berhubungan dengan koefisien tekanan dan viskositas minyak.

a = Konstanta yang dihitung untuk pengaruh suhu pada α .

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

secara eksperimen diperlihatkan bahwa dengan harga α dihubungkan pada tekanan Atm. oleh persamaan :

$$\alpha = G + H \log \nu_o + C (\log \nu_o)^2 \quad (2-15)$$

dimana G , H , dan C merupakan konstanta-konstanta yang bergantung pada hubungan antara suhu dan viskositas dari minyak.

II.2.6. Penggunaan Minyak Pelumas pada Kompresor

Pelumasan merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi performansi dan umur suatu kompresor. Pelumasan yang baik sangat diperlukan oleh kompresor mengingat bahwa fungsi dari pelumasan adalah:

1. Mengurangi gesekan.
2. Mengurangi keausan.
3. Mencegah korosi.
4. Memindahkan panas.

Beberapa cara pelumasan yang umum dilakukan pada kompresor adalah:

1. Pelumasan tekan.
2. Pelumasan percik.
3. Pelumasan dengan cincin.

Pelumasan tekan adalah cara pelumasan yang paling efektif. Cara ini terutama dilakukan pada kompresor besar yang penggunaannya secara terus menerus. Pada prinsipnya, pelumasan tekan mempunyai sebuah pompa yang mengisap minyak pelumas dari *oil separator* dan menyalurkannya ke *oil cooler* serta keseluruhan bagian kompresor melalui saluran-saluran yang dibuat pada bagian-bagian kompresor. Baik yang bergerak maupun yang diam.

Untuk mencegah kotoran ikut aliran minyak pelumas, sebuah penyaring dipasang pada pipa hisap dari pompa minyak pelumas. Kadang-kadang penyaring

tambahan juga dipasang pada saluran tekan, terutama pada kompresor-kompresor besar.

Pompa pelumas yang digunakan pada kompresor ini adalah pompa jenis *pump gear* yang putarannya ikut bersama putaran *rotor*. Sebuah pemutus otomatis merupakan alat pengaman kompresor terhadap tekanan minyak pelumas yang terlalu rendah. Alat ini akan menghentikan motor penggerak kompresor bila tekanan minyak pelumas dibawah harga yang disyaratkan.

Pelumasan percik adalah cara pelumasan paling sederhana. Sebuah batang hubung setiap kali berputar mengaduk minyak pelumas sehingga menimbulkan percikan-percikan. Percikan ini akan melumasi bagian-bagian dari kompresor. Cara pelumasan ini hanya dapat digunakan untuk kompresor-kompresor kecil dengan kapasitas 150 l/menit. Kompresor semacam ini tidak digunakan secara terus menerus.

Pelumasan cincin dilakukan oleh sebuah cincin yang tergantung pada poros engkol dengan bagian bawahnya tercelup dalam minyak pelumas. Cincin akan berputar mengikuti putaran poros engkol sambil membawa minyak pelumas. Akibat putaran cincin, sebagian minyak pelumas akan terpercik keruang poros engkol dan sebagian lagi akan mengalir melalui saluran-saluran kebantalan poros engkol.

Pada pengamatan dilapangan kompresor *screw* yang terdapat diseksi utilitas PT. Semen Gresik menggunakan pelumasan tekan dengan alasan pelumasan jenis ini sesuai dengan operasi kompresor yang terus menerus. Pada proses pelumasan digunakan pompa *gear* yang dihubungkan dengan gear motor penggerak elemen kompresor. Sehingga putaran pompa mengikuti putaran kompresor.

Adapun pelumas yang digunakan adalah pelumas produk *British Petroleum (BP) oil* dengan tipe RCR 68. Kapasitas minyak pelumas dikompresor adalah sebanyak 85 liter oli dengan *running hour* 2000 jam. Pelumas BP Oil tipe RCR 68 memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 1 Karakteristik Minyak Pelumas RCR 68

No.	Typical Property	
1	Density at 15°C (kg/l)	0.883
2	Kinematic viscosity at 40°C (Cst)	68.5
3	Kinematic viscosity at 100°C (Cst)	8.9
4	Viscosity index	101
5	Pour point (°C)	-27
6	Flash point – COC (°C)	218

Karakteristik dari minyak pelumas sangat berpengaruh terhadap kinerja pelumas dalam melumasi komponen-komponen mesin. Karakteristik minyak pelumas terdiri dari sifat fisik dan spektrometrik logam. Masing-masing sifat dari minyak pelumas menentukan kualitas pelumasan terhadap mesin. Dimana jika pelumasan bagus maka dapat dipastikan mesin bekerja optimal. Jika terjadi perubahan terhadap salah satu dari sifat fisik atau spektrometrik logam dari pelumas akan memberikan dampak tertentu terhadap kinerja mesin.

Minyak pelumas untuk kompresor secara umum mempunyai persyaratan yang bergantung kepada jenis gas yang harus dilayani. Dari jenis kompresor yang ada secara garis besarnya dapat dibagi atas tiga jenis yaitu: kompresor udara, kompresor gas dan mesin pendingin atau *refrigerator*. Pada kompresor udara jenis *rotary* dan *sentrifugal* memerlukan pelumasan pada sudu, baling-baling, impeler dan celah-celah serta bantalan rotor.

Masalah yang penting pada pelumasan kompresor adalah kebersihannya. Suatu kompresor modern merupakan mesin yang didisain secara tepat dan sempurna buatannya untuk dapat bekerja dibawah tekanan tinggi dan suhu tinggi sebagai konsekuensi adanya tekanan tinggi.

Untuk hubungan antara besarnya kompresi dengan suhu yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Suhu teoritis untuk petunjuk minyak pelumas melayani mesin kompresor udara

JENIS KOMPRESOR	SUHU PUNCAK, °F	
	Tinggi Maksimum	Rendah Minimum
RESIPROKASI Tingkat tunggal, 150 psi Dua tingkat, 150 psi dengan pendingin antara 60 °F	589 279	Suhu lingkungan dari pemasukan udara mulai dari 0° s/d 120° F
ROTARY, 125° psi	540	
SENTRIFUGAL, 40° psi	300	

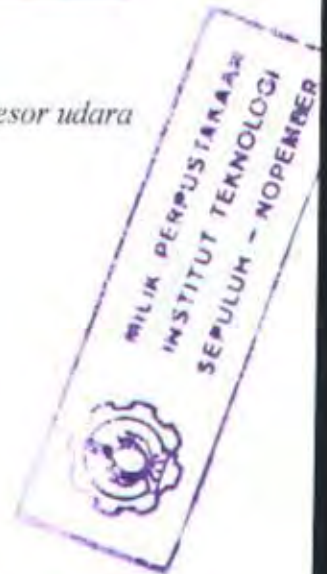
Pada jenis kompresor udara panas yang timbul merupakan hasil dampak di antara molekul-molekul udara selama proses kompresi. Apabila kompresor diberi pelumasan yang sepatutnya, jumlah panas yang disebabkan oleh gesekan akan sangat kecil bila dibandingkan dengan panas molekuler. Dengan memberikan pendingin antara (*inter-cooler*) dan pendingin belakang (*after-cooler*) akan memberikan pengaturan suhu kompresi pada batas yang diperbolehkan.

Pada tabel 3 diperlihatkan suhu buang kompresor udara. Jelaslah bahwa minyak pelumas kompresor udara haruslah merupakan suatu hasil proses penyulingan yang sempurna sehingga dapat bertahan menghadapi kondisi suhu yang tinggi tanpa terjadi kerusakan. Memberikan minyak pelumas yang kelewat berlimpah akan mengakibatkan timbulnya deposit karbon khususnya pada pembuang yang akan menimbulkan gangguan yang menjurus pada kenaikan suhu buang yang terlalu tinggi.

Tabel 3 Suhu Buang Kompresor Udara

TEKANAN KOMPRESOR (psi)	Pendekatan puncak suhu dari kompresi (°F)	
	Tingkat Tunggal	Dua tingkat
50	350	210
100	500	250
200	...	310
300	...	350

Beberapa karakteristik yang perlu mendapat perhatian pada minyak pelumas yang digunakan didalam kompresor adalah titik nyala dan daya



penguapan (*rate of evaporation*). Karakteristik-karakteristik ini berhubungan langsung dengan terbentuknya karbon di dalam minyak pelumas.

Penelitian yang telah dilakukan melalui banyak percobaan memberikan kenyataan bahwa minyak pelumas yang pada kondisi menguap lebih sedikit dalam membentuk karbon atau deposit. Sebagai contohnya, minyak pelumas dengan dasar naftenik yang mempunyai titik nyala lebih rendah dari minyak pelumas dengan dasar *parafinik*, akan memberikan pelayanan yang lebih baik di dalam unjuk kerjanya. Khusus pada kompresor udara ini penguapan yang berhubungan dengan titik nyala minyak pelumas yang digunakan sangat memberikan pengaruh.

II.3. Pendinginan

Yang dimaksud dengan pendinginan pada kompresor adalah usaha untuk menghindarkan kenaikan temperatur yang tinggi pada udara yang dihasilkan maupun sirkulasi oli pada sistem kompresor tersebut. Selama operasi berlangsung panas yang ditimbulkan oleh kompresor dapat mencapai 100°–150° C, oleh sebab itu agar udara yang dihasilkan bisa dipergunakan dan tidak merusak peralatan, maka dipasanglah pendingin yang disebut *after cooler* demikian juga dengan sistem sirkulasi oli yang digunakan dalam pengoperasian kompresor dipasang pendingin yang disebut *oil cooler*, kedua sistem pendingin tersebut harus mampu mendinginkan atau menurunkan temperatur pada batas-batas temperatur yang diijinkan yaitu sesuai spesifikasi dari kompresor maupun kemampuan material pada kondisi pengoperasian yang baik.

Apabila sistem tersebut kurang mampu, maka akan mengakibatkan kerusakan-kerusakan pada peralatan sehingga dapat memperpendek usia dari mesin tersebut. Dengan adanya pendinginan akan menjadikan pelumasan pada *bearing-bearing*, saringan udara (elemen separator) dan *gear-gear* dapat berfungsi dengan baik, karena tanpa pendinginan minyak menjadi panas sehingga *seal-seal* dan *hose-hose* atau saluran minyak menjadi rusak atau bocor, sehingga menyebabkan *gear* cepat rusak aus ataupun *bearing* cepat rusak.

Udara yang dihisap kedalam kompresor sebagian besar terdiri dari oksigen dan nitrogen, serta sedikit mengandung uap air. Nitrogen dan oksigen selalu

berbentuk gas pada semua suhu dan tekanan yang terjadi dikompresor, tetapi uap air dapat mengembun bila tekanannya bertambah atau suhu diturunkan.

Air embun ini bila masuk saluran pipa udara tekan dapat menyebabkan kesulitan-kesulitan, antara lain berkaratnya pipa, terjadinya es pada perkakas *pneumatik* dan bila bercampur dengan pelumas pada kompresor *screw* akan menyebabkan pelumas kehilangan fungsinya untuk melumasi karena perubahan fisik pelumas.

Sehubungan dengan itu, uap air harus dipisahkan dari udara tekan yang akan dipergunakan, sehingga udara tersebut menjadi kering.

Pemisahan uap air dari udara tekan dilakukan dengan pendinginan akhir (*aftercooler*) yaitu dengan cara mendinginkan udara tekan didalamnya. Pendinginan akhir dipasang setelah *separator* sebelum udara masuk ke *receiver*. Sebagian besar uap air yang terkandung di udara mengembun didalam pendingin ini. Air pengembun dikumpulkan didalam perangkat air dan kemudian dibuang.

Meskipun pendinginan pada umumnya merupakan kerugian panas bila ditinjau dari segi pemanfaatan energi atau kerugian-kerugian lainnya dari pendinginan, tetapi dengan adanya pendinginan ini adalah merupakan keperluan untuk menjamin temperatur kerja dari mesin sebaik-baiknya dan untuk mencegah menurunnya viskositas minyak pelumas karena panas yang tinggi.

Perubahan temperatur didalam kompresor berlangsung secara cepat, sebab udara dan minyak didalam kompresor bercampur dengan tekanan yang tinggi didalam tangki penampung (*reservoir*), kemudian udara dan minyak dipisahkan oleh saringan atau *filter* pemisah (*element separator*), udara yang bersih dipergunakan dalam proses berikutnya sedangkan minyak bersirkulasi lagi.

Selain itu minyak pelumas juga berfungsi sebagai pelumasan *bearing*, *seal* dan *gear-gear*.

Jadi tujuan utama pendinginan adalah:

- a. Mendinginkan udara hasil produksi kompresor.
- b. Mendinginkan minyak pada sistem sirkulasi.



- c. Memelihara temperatur kerja dari mesin.
- d. Mencegah mencairnya atau mengentalnya minyak pelumas.
- e. Menjaga agar usia mesin bisa mencapai bahkan melebihi dari *life time* (waktu operasi yang ditentukan dari pabrikasi).

Berdasarkan zat pendingin yang dipakai, pendingin dapat dibedakan menjadi dua:

1. Alat pendingin dengan udara

Udara sebagai zat pendingin dialirkan kedalam pendingin dengan bantuan kipas angin atau *fan*. Pendinginan udara mempunyai komponen utama pipa bersirip yang berliku-liku. Udara tekan mengalir melalui bagian dalam pipa, sedang udara pendingin mengalir diluarnya. Kebanyakan pendingin jenis ini dilengkapi dengan kipas angin untuk memperoleh pendinginan yang baik.

2. Alat pendingin dengan air

Air sebagai zat pendingin dipompakan kedalam pendingin. Biasanya air ini setelah keluar dari alat pendingin akan didinginkan lagi untuk dialirkan kembali ke pendingin. Adakalanya, bila tersedia air bersih yang berlimpah, air yang keluar dari alat pendingin langsung dibuang.

Alat pendingin dengan air umumnya berbentuk suatu tabung silindris dengan jajaran pipa-pipa yang terpasang didalamnya. Dengan bentuk demikian, proses perpindahan kalor terjadi melalui jajaran pipa-pipa.

Tepat pada saluran ke luar udara tekan dari alat pendingin harus dipasang pemisah air. Disini udara tekan yang bercampur dengan titik-titik air ditampung sedemikian hingga titik-titik air tersebut jatuh kebawah, sedang udara tetap berada diatas. Air yang ditampung dipemisah air akan dibuang, baik secara otomatis maupun dengan dibuka katup buangnya secara manual.




Alat pendingin dengan air juga digunakan untuk mendinginkan pelumas yang digunakan untuk operasi kompresor atau disebut *oil cooler*. Pelumas setelah dipisahkan dengan udara di *separator* melalui *oil filter* dipompa ke *oil cooler* untuk didinginkan. Setelah itu bersirkulasi kembali ke elemen kompresor. Bila

pendinginan tidak berfungsi baik akan menimbulkan permasalahan, antara lain terjadi oksidasi yang berlebihan pada pelumas yang tidak dapat diatasi oleh *anti-oxidant* dari pelumas. Akibatnya akan terjadi perubahan fisik pada minyak pelumas yaitu peningkatan viskositas kinematis minyak pelumas. Masalah lain yang terjadi jika pendingin tidak berjalan dengan baik adalah viskositas kinematis akan menurun drastis jika temperatur meningkat menyebabkan minyak pelumas kehilangan lapisan *oil film*-nya.

II.4 Analisa Fault Tree

FTA atau *fault tree analysis* adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu sistem *engineering*. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem *engineering* dan probabilitas terjadinya *event* tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *TOP event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada *TOP event*. FT adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

Dalam pengkonstruksian sebuah *fault tree* digunakan beberapa simbol dan *gate* standar *fault tree*, yaitu:

-  *BASIC EVENT* – menyatakan kegagalan sebuah peralatan yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut.
-  *CONDITIONING EVENT* – kondisi tertentu atau persyaratan yang digunakan pada semua *logic gate* (digunakan terutama dengan *PRIORITY AND* dan *INHIBIT GATE*)
-  *UNDEVELOPED EVENT* – sebuah *event* yang tidak dikembangkan lebih lanjut disebabkan *event* tersebut tidak terlalu penting atau karena informasi yang tidak tersedia.



EXTERNAL EVENT – sebuah *event* yang normal terjadi bila terjadi kegagalan.



INTERMEDIATE EVENT – sebuah *event* yang digunakan sebagai informasi tambahan untuk pengkonstruksian *fault event*.

Sedangkan *gate-gate* yang digunakan dalam pengonstruksian *fault tree* adalah:



OR GATE – digunakan untuk menunjukkan bahwa *output event* terjadi kegagalan jika hanya satu atau lebih *input event* terjadi kegagalan.



AND GATE – digunakan untuk menunjukkan bahwa kegagalan *output* terjadi jika semua *input* terjadi kegagalan.



EXCLUSIVE OR – *output* mengalami kegagalan jika hanya satu dari *input* mengalami kegagalan.



PRIORITY AND – *output* mengalami kegagalan jika semua *input* mengalami kegagalan dengan sekuen tertentu (sekuen ditunjukkan dengan *CONDITIONING EVENT* digambar disebelah kanan dari *gate*).



INHIBIT – *output* mengalami kegagalan disebabkan oleh suatu *input* (tunggal) dalam kaitannya dengan kondisi tertentu yang mendukung kegagalan *output* (kondisi yang mendukung ditunjukkan dengan *CONDITIONING EVENT* digambar disebelah kanan dari *gate*).

Simbol transfer yang digunakan dalam pengkonstruksian *fault tree* adalah:



TRANSFER IN-TRANSFER OUT SYMBOL



Simbol *transfer out* menunjukkan bahwa *fault tree* dikembangkan lebih lanjut dan berhubungan dengan *transfer in*.

Setelah mengidentifikasi *TOP event*, *event-event* yang memberi kontribusi secara langsung terjadinya *top event* diidentifikasi dan dihubungkan *TOP event*

dengan memakai hubungan logika (*logical link*). Gerbang *AND* (*AND gate*) dan sampai dicapai *event* dasar yang independen dan seragam (*mutually independent basic event*).

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *TOP event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logical gate*). *Output* dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh *event* yang masuk ke gerbang tersebut.

II.4.1 Definisi Problem dan Kondisi Batas

Aktivitas pertama dari *fault tree analysis* terdiri dari dua *step*, yaitu :

- a. Mendefinisikan *critical event* yang akan dianalisa
- b. Mendefinisikan *boundary condition* untuk dianalisa

Critical event yang akan dianalisa secara normal disebut dengan *TOP event* seperti terlihat pada gambar 6. Penting kiranya untuk bahwa *TOP event* harus didefinisikan secara jelas dan tidak kabur (*unambiguous*). Deskripsi dari *TOP event* seharusnya selalu memberikan jawaban terhadap pertanyaan apa (*what*), di mana (*where*), dan kapan (*when*).

What

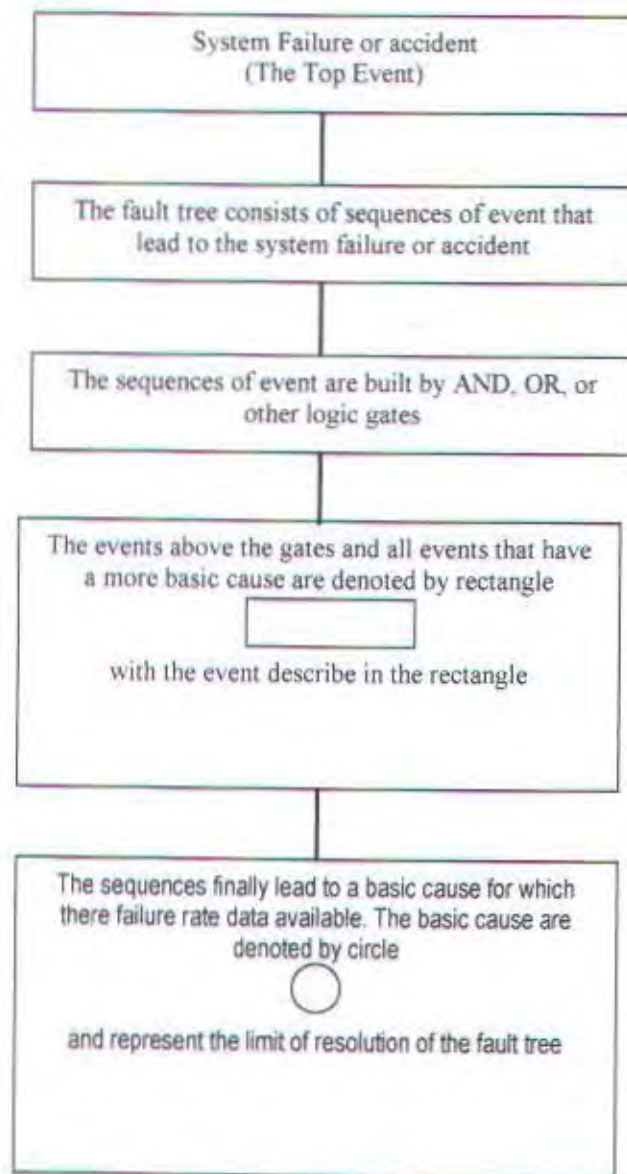
Mendiskripsikan tipe dari *critical event* yang sedang terjadi, sebagai contoh kebakaran (*fire*).

Where

Mendiskripsikan dimana *critical event* terjadi. Sebagai contoh *critical event* terjadi di *process oxidation reactor*.

When

Mendiskripsikan dimana *critical event* terjadi, sebagai contoh *critical event* terjadi pada saat pengoperasian normal.



Gambar 6 Struktur fundamental dari sebuah fault tree.

Agar analisis dapat dilakukan secara konsisten, adalah hal yang penting bahwa kondisi batas bagi analisa didefinisikan secara hati-hati. Dari kondisi batas, kita akan memiliki berupa pemahaman sebagai berikut :

Batas fisik sistem:

- a. Bagian mana dari sistem yang akan dimasukkan dalam analisa dan bagian mana yang tidak ?

- b. Kondisi awal
- c. Kondisi pengoperasian sistem yang bagaimana pada saat *TOP event* terjadi?
Apakah sistem bekerja pada kapasitas yang penuh / sebagian ?
- d. Kondisi batas yang berhubungan dengan *stres eksternal*.
- e. Apa tipe *stres eksternal* yang seharusnya disertakan dalam analisa ?
- f. Level dari resolusi
- g. Seberapa detail kita akan mengidentifikasi berbagai alasan potensial yang menyebabkan kegagalan ?

II.4.2. Pengkontruksian *Fault Tree*

Pengkontruksian *fault tree* selalu bermula dari *TOP event*. Oleh karena itu, berbagai *fault event* yang secara langsung, penting, dan berbagai penyebab terjadinya *TOP event* harus secara teliti diidentifikasi. Berbagai penyebab ini dikoneksikan ke *TOP event* oleh sebuah gerbang logika. Penting kiranya bahwa penyebab level pertama dibawah *TOP event* harus disusun secara terstruktur. Level pertama ini sering disebut dengan *TOP structure* dari sebuah *fault tree*. *TOP structure* ini sering diambil dari kegagalan modul-modul utama sistem, atau fungsi utama sistem. Analisa dilanjutkan level demi level sampai semua *fault event* telah dikembangkan sampai pada resolusi yang ditentukan. Analisa ini merupakan analisa deduktif dan dilakukan dengan mengulang pertanyaan “Apa alasan terjadinya *event* ini ?”.

Ada beberapa aturan yang harus dipenuhi dalam mengkontruksi sebuah *fault tree*. Berikut ini beberapa aturan yang dipakai untuk mengkonstruksi sebuah *fault tree*.

1. Diskripsikan *fault event*.

Masing-masing *basic event* harus didefinisikan secara teliti (apa, dimana, kapan) dalam sebuah kotak.

2. Evaluasi *fault event*.

Kegagalan komponen dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu, *primary failures*, *secondary failures*, dan *command faults*.

Sebuah *normal basic event* di dalam sebuah *fault tree* merupakan sebuah *primary failures* yang menunjukkan bahwa komponen merupakan penyebab dari kegagalan. *Secondary failures* dan *command faults* merupakan *intemediate event* yang membutuhkan investigasi lebih mendalam untuk mengidentifikasi alasan utama.

Pada saat mengevaluasi sebuah *fault event*, seorang analis akan bertanya, "Dapatkah *fault* ini dikategorikan dalam *primary failure*?" Jika jawabannya YA, maka analis tersebut dapat mengklasifikasikan *fault event* sebagai *normal basic event*. Jika jawabannya TIDAK, maka analis tersebut mengklasifikasikan *fault event* sebagai *intermediate event*, yang harus di-*develop* lebih jauh, atau sebagai *secondary basic event*. *Secondary basic event* sering disebut dengan *undeveloped event* dan menunjukkan sebuah *fault event* yang tidak dikaji lebih jauh karena informasinya tidak tersedia atau karena dampak yang ditimbulkan tidak signifikan.

3. Lengkapi semua gerbang logika.

Semua input ke *gate* tertentu harus didefinisikan dengan lengkap dan didiskripsikan sebelum memproses *gate* lainnya. *Fault tree* harus diselesaikan pada masing-masing *level* sebelum memulai *level* berikutnya.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Allah akan meninggikan orang - orang yang beriman diantaramu dan orang - orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan. (Q.S. Al - Mujadillah: 11)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



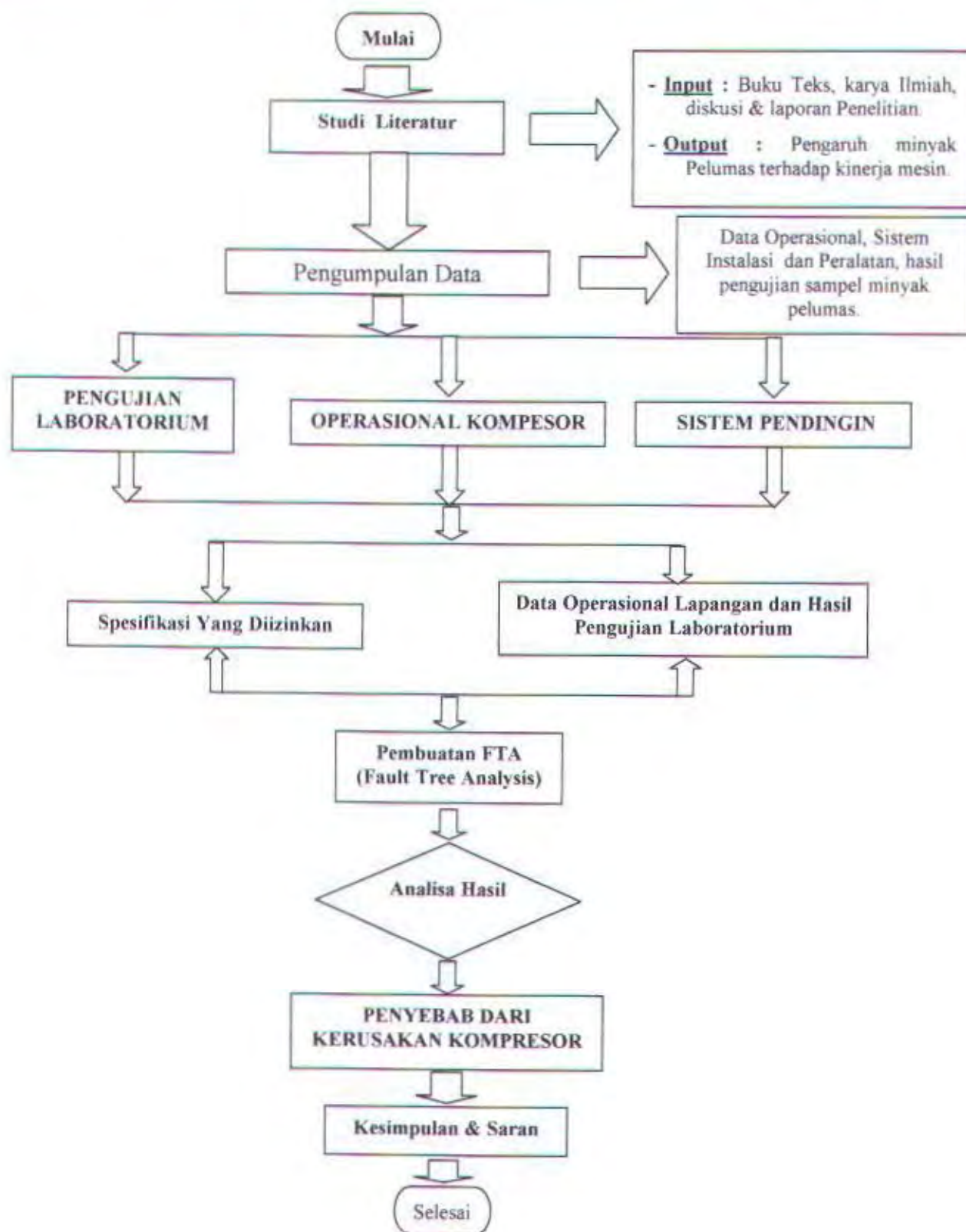
III.1 Umum

Metodologi merupakan suatu kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan dipecahkan atau dianalisa. Metodologi penulisan ini mencakup semua tindakan ataupun langkah-langkah yang akan dilakukan untuk penulisan tugas akhir.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memprediksi penyebab kegagalan dari kompresor *screw* di seksi Utilitas PT. Semen Gresik Kompartemen Tuban. Dalam memprediksi penyebab kegagalan ini digunakan analisa keandalan. Dimana analisa keandalan yang digunakan yaitu analisa *kualitatif*. Analisa secara *kualitatif* dalam penganalisaan keandalan sistem menggunakan metode FTA. Tahap-tahap yang digunakan untuk memprediksi penyebab kegagalan kompresor dapat dilihat pada gambar 7.

III.2 Pengumpulan Data

Dalam melakukan analisa kegagalan dengan analisa keandalan tidak terlepas akan tersedianya data yang akan diolah. Tujuan pengumpulan data yaitu agar kita dapat memprediksi kegagalan dari kompresor. Data yang diperlukan yaitu data spesifikasi kompresor, data spesifikasi karakteristik pelumas dari kompresor *Atlas Copco*, data karakteristik pelumas RCR 68 yang digunakan dikompresor saat kegagalan terjadi, data karakteristik pelumas RCR 68 setelah *dirunning* di kompresor, data karakteristik pelumas yang 'mengental' setelah *dirunning* di kompresor dan data laporan operasional kompresor. Data-data tersebut akan digunakan untuk penganalisaan secara *kualitatif* dengan metode FTA. Data laporan operasional kompresor yang didapat berasal dari Seksi Utilitas PT. Semen Gresik Kompartemen III Tuban, data spesifikasi-spesifikasi diambil dari *manual book compressor Atlas Copco*, dan data hasil pengujian pelumas baru dan bekas RCR 68 di Balai Lembaga Penelitian dan Pengembangan Industri Surabaya.



Gambar 7 Diagram Alir Metodologi Penelitian

III.2.1 Spesifikasi Kompresor Atlas Copco

Pabrikan kompresor Atlas Copco telah memberikan spesifikasi pengoperasian kompresor dan sistem-sistem pendukung dari kompresor agar kompresor dapat beroperasi normal. Spesifikasi tersebut terdapat pada *manual book* dari kompresor tipe GA 160W yang dapat dilihat pada lampiran 1.

III.2.2 Spesifikasi Karakteristik Pelumas Untuk Kompresor Atlas Copco

Untuk mencapai performance yang diinginkan, pabrikan kompresor Atlas Copco telah menentukan karakteristik minyak pelumas yang digunakan pada kompresor. Spesifikasi tersebut meliputi: viskositas pada 0°F, 100°F dan 210°F, indeks viskositas, titik tuang, titik nyala, *four ball wear test*, *Demulsibility*, TAN dan berat jenis. Karakteristik dari minyak pelumas yang dispesifikasikan oleh kompresor Atlas Copco dapat dilihat pada lampiran 2.

III.2.3 Laporan Operasional Kompresor

Seksi Utilitas PT. Semen Gresik selalu melakukan pengecekan terhadap kompresor-kompresor yang dioperasikan di pabrik tersebut terutama saat penggantian pelumas kompresor. Pengecekan tersebut dilakukan dengan membaca angka yang tertera di *compressor reading display* dan mengisi form *history service compressor* yang meliputi data: *Running Hour* (jam), *Loading Hour* (jam), *Intake Air Filter* (bar), *Oil Tank* (liter), *Working Pressure* (psi), *Element Outlet Temperature* (°C), *Water Temperature at After Cooler Circuit* (°C) dan *Compressor Outlet Temperature* (°C, udara). Dari data laporan operasional kompresor dapat dilihat operasional dari kompresor tersebut, dimana yang menjadi acuan analisa adalah *manual book compressor Atlas Copco*. Data yang terdapat pada *history service compressor* adalah:

III.2.3.1 *Running Hour* dan *Loading Hour*

Running Hour menunjukkan lamanya kompresor beroperasi dari mulai kompresor start untuk pertama kali (baru), baik dalam kondisi *loading* maupun *unloading* (kondisi *loading* dan *unloading* telah dijelaskan sebelumnya di

Tinjauan Pustaka). Sedangkan *Loading Hour* menunjukkan lamanya kompresor beroperasi dalam keadaan loading (menghasilkan udara mampat).

Fungsi dari *loading Hour* adalah sebagai acuan waktu penggantian pelumas untuk kompresor, dimana rata-rata jadwal penggantian pelumas adalah setiap 1500 jam. Sedangkan *Loading Hour* berfungsi untuk pengaturan *sequence* kompresor untuk alasan *life time*.

III.2.3.2 Intake Air Filter

Intake Air Filter adalah *pressure drop* tekanan udara luar yang masuk ke *air inlet* kompresor. Batasan dari *pressure drop* adalah dibawah 0,050 pada *reference condition* (lampiran 1). Data ini tidak terlalu dianalisa karena data lapangan yang kurang lengkap.

III.2.3.3 Oil Tank

Oil Tank menunjukkan kapasitas dari minyak pelumas di tangki pelumas. Dimana kapasitas tangki pelumas adalah 85 liter.

III.2.3.4 Working Pressure

Menunjukkan tekanan kerja dari kompresor. Tekanan tersebut dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Tekanan kerja nominal yang dianjurkan pabrikasi adalah 7 bar atau 101,5 psi.

III.2.3.5 Element Outlet Temperature

Adalah temperatur campuran pelumas dan udara setelah keluar dari elemen kompresor atau sebelum elemen separator. Dari *manual book* diberikan batasan temperatur elemen outlet antara 55-100°C.

III.2.3.6 Water Temperature (After Cooler Circuit dan In-compressor Circuit)

Menunjukkan temperatur air pendingin pada pendingin udara dan pendingin minyak pada kompresor. Temperatur tersebut menunjukkan proses perpindahan panas yang terjadi antara air pendingin dengan udara atau dengan

pelumas berlangsung optimal. Temperatur air pendingin dibatasi maksimal 50°C (limitations, lampiran 1).

III.2.3.7 Compressor Outlet Temperature (Udara)

Menunjukkan temperatur udara mampat yang dihasilkan oleh kompresor setelah didinginkan di *after cooler*. Temperatur udara keluaran kompresor diberikan referensi sekitar 25°C untuk kompresor GA W (lampiran 1.4).

III.2.4 Hasil Pengujian Pelumas RCR 68 yang Rusak

Pelumas RCR 68 yang rusak atau "mengejel" setelah dioperasikan dikompresor *Atlas Copco* di Seksi Utilitas PT. Semen Gresik telah dilakukan pengujian untuk dianalisa sifat fisik dan kimia-nya di Laboratorium Prolab Sukses Industri Jakarta yang merupakan laboratorium penelitian BP Lube Indonesia. Dari hasil pengujian tersebut dapat dianalisa karakteristik pelumas yang rusak untuk kemudian dibandingkan dengan hasil dari *basic event* konstruksi FTA.

III.2.5 Pengujian Pelumas di Laboratorium

Kerusakan yang terjadi di kompresor diindasikan dengan pelumas yang rusak, yaitu akibat yang paling parah terjadi pengentalan pada pelumas. Untuk itu dilakukan pengujian terhadap minyak pelumas yang digunakan di kompresor di Laboratorium Produk dan Bahan Balai Lembaga Penelitian dan Pengembangan Industri. Diantara yang diujikan adalah pelumas baru RCR 68 dan pelumas baru setelah dioperasikan dikompresor selama 1250 jam. Sedangkan minyak pelumas RCR 68 yang mengalami pengentalan setelah dioperasikan di kompresor telah dilakukan pengujian di Laboratorium Prolab Sukses Industri oleh distributor produk pelumas BP.

III.2.5.1 Pengujian Pelumas Baru

Pelumas yang digunakan pada kompresor adalah pelumas *BP energol RCR 68* produk dari BP Lubes. Tujuan dari pengujian minyak pelumas baru adalah untuk memastikan bahwa karakteristik pelumas RCR 68 telah memenuhi spesifikasi karakteristik pelumas yang disyaratkan oleh *Atlas Copco Compressor*.

Karakteristik-karakteristik yang diujikan adalah: berat jenis, kadar air, titik nyala, titik beku, viskositas pada 100°F, viskositas pada 210°F, jumlah keasaman (TAN), zat tak larut benzena.

III.2.5.2 Pengujian Pelumas Bekas

Setelah dilakukan pengujian terhadap pelumas baru, ternyata karakteristik pelumas baru telah memenuhi karakteristik yang dispesifikasikan oleh kompresor. Untuk itu dilakukan pengujian terhadap pelumas bekas dioperasikan di kompresor namun tidak mengalami pengentalan. Dari hasil pengujian pelumas bekas diharapkan dapat diketahui penyebab dari kerusakan kompresor dengan menganalisa perubahan karakteristik pelumas bekas yang melebihi batas pengoperasian normal, terutama perubahan viskositas dan jumlah keasaman.

III.3 Analisa Data

Analisa data dilakukan secara kualitatif, penggunaan tersebut mengacu pada pertimbangan bahwa output dari metode tersebut mengacu pada pertimbangan bahwa output dari metode tersebut memiliki kaitan yang dapat digunakan sebagai kontribusi untuk mengetahui penyebab kegagalan kompresor. Penggunaan metode FTA dilakukan untuk mengetahui titik-titik lemah dari sistem yang kemudian mengetahui komponen mana yang dapat menyebabkan kegagalan.

Penggunaan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) bertujuan untuk mengetahui komponen-komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada kompresor. Adapun tahap-tahap yang dilakukan dalam analisa FTA adalah sebagai berikut:

- a. Langkah pertama dalam metode FTA mendefinisikan kegagalan (*top event*) yang diprediksi akan terjadi pada sistem ke tingkat yang lebih rendah (*top down approach*) dari suatu sistem yaitu dengan menelusuri ke komponen-komponen yang diprediksikan dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada sistem sehingga akan diketahui titik lemah sistem yang menyebabkan kegagalan kompresor. Dalam langkah ini juga diikuti penentuan batasan analisa agar dapat terfokus dan konsisten.

- b. Langkah kedua adalah pengkonstruksian *fault tree*, dari berbagai penyebab kegagalan ini dikoneksikan ke *top event* oleh sebuah gerbang logika.

III.4 Hasil Prediksi Kegagalan

Pada tahap ini diambil suatu hasil prediksi kegagalan sistem dari hasil *analisa kualitatif*. Adapun hasil prediksi kegagalan tersebut adalah komponen-komponen penyebab kegagalan, yang di-*cross check* dengan hasil pengujian laboratorium.

III.5 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini akan diambil suatu langkah penyimpulan dengan menggunakan acuan rekomendasi dari langkah yang telah dilakukan dalam bab-bab sebelumnya untuk prediksi penyebab kerusakan kompresor pada Seksi Utilitas PT. Semen Gresik Kompartemen III Tuban.



BAB IV

ANALISA DATA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dan janganlah kamu mengikuti apa yang kamu tidak mempunyai ilmu pengetahuan tentangnya. Sesungguhnya pendengaran, penglihatan dan hati semuanya itu akan diminta pertanggungjawabannya. (Al - Isra': 36)

BAB IV

ANALISA DATA

IV.1 Analisa Hasil Pengujian Minyak Pelumas Baru

Hasil pengujian pelumas RCR 68 baru di laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Surabaya dapat dilihat pada tabel 4. Akan dianalisa setiap karakteristik minyak pelumas tersebut, tentang viskositas pada 100°F, viskositas pada 210°F, jumlah keasaman, berat jenis, kadar air, titik nyala, titik beku dan zat tak larut benzena. Analisa akan membandingkan hasil dari pengujian dengan karakteristik pelumas yang disyaratkan oleh spesifikasi kompresor *Atlas Copco* dari *manual book compressor*. Sehingga nantinya dapat ditentukan sesuai atau tidaknya pelumas RCR 68 digunakan di kompresor *Atlas Copco*.

Pelumas RCR 68 memiliki berat jenis dan kadar air yang lebih besar dari berat jenis dan kadar air pelumas yang dispesifikasikan, namun karakteristik ini tidak bisa dijadikan alasan bahwa pelumas RCR 68 tidak sesuai untuk digunakan di kompresor tersebut. Pada umumnya karakteristik pelumas RCR 68 sudah memenuhi karakteristik yang dispesifikasikan oleh kompresor dengan menganalisa karakteristik-karakteristik dari pelumas RCR 68.

Tabel 4 Perbandingan hasil pengujian pelumas RCR 68 baru
dan pelumas yang dispesifikasikan

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi
1.	Berat Jenis	-	0.8831	0.862
2.	Kadar Air	%	0.31	-
3.	Titik Nyala	°F	469,4	415
4.	Titik Beku	°F	<-44,6	-34
5.	Viskositas pada 100°F	Cst	43.8	38.0
6.	Viskositas pada 210°F	Cst	9.04	6.0
7.	Keasaman Jumlah	Mg/KOH	0.10	0.80
8.	Zat tak larut benzena	%	0.09	-

Dari hasil pengujian Laboratorium Lembaga Penelitian dan Pengembangan Industri maka analisisnya adalah:

1. Berat Jenis

Berat jenis pelumas RCR 68 lebih besar dari berat jenis pelumas yang diminta oleh spesifikasi kompresor, yaitu berat jenis yang dispesifikasikan kompresor adalah 0,862 sedangkan berat jenis pelumas RCR 68 adalah 0,8831. Perbedaan tersebut memiliki selisih sebesar 0,0211. Namun perbedaan tersebut memiliki deviasi yang sangat kecil sehingga dianggap masih dapat ditoleransi. Dimana umumnya minyak pelumas mempunyai berat jenis $60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F}$ diantara 0,85 dan 0,90.

2. Kadar Air

Kadar air dari pelumas baru RCR 68 adalah 0,31%. Berdasarkan standard ASTM D95 disebutkan bahwa kadar air pada minyak pelumas maksimal adalah 0,2% dari volume sampel yang diuji. Dari hasil tersebut maka kadar air pelumas RCR 68 baru melebihi dari batas standard. Adanya air di dalam minyak pelumas sangat tidak diharapkan, sebab jika Gravitasi Spesifik minyak mendekati Gravitasi Spesifik air, maka air akan sulit dipisahkan dari minyak dimana air pada temperatur tinggi akan mengalami penguapan dan ketika minyak pelumas didinginkan air akan terkondensasi membentuk uap air.

3. Titik Nyala

Titik nyala pelumas RCR 68 adalah sebesar $469,4^{\circ}\text{F}$ atau 243°C , sedangkan titik nyala pelumas yang diinginkan oleh spesifikasi kompresor adalah 415°F atau 212°C . Dari hasil pengujian tersebut terbukti bahwa titik nyala pelumas RCR 68 sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, bahkan lebih baik, dimana bila titik nyala semakin tinggi maka hasilnya akan semakin baik saat beroperasi, artinya uap yang timbul dari minyak pelumas yang membentuk suatu campuran dengan udara akan mudah menyala pada temperatur yang lebih tinggi. Seperti dijelaskan di bab 2 bahwa titik nyala atau *flash point* dari suatu minyak adalah suhu terendah dimana minyak dipanasi dengan peralatan standar menghasilkan uap yang dapat dinyalakan dalam pencampurannya dengan udara.

Titik nyala secara prinsip ditentukan untuk mengetahui bahaya terbakarnya produk-produk minyak bumi.

4. Titik Beku

Dari hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa titik beku pelumas RCR 68 adalah kurang dari $-44,6^{\circ}\text{F}$ sedangkan titik beku yang diminta oleh spesifikasi kompresor adalah sebesar -34°F . Titik beku pelumas RCR 68 dapat dikatakan telah memenuhi syarat dari spesifikasi yang diinginkan oleh kompresor, bahkan lebih baik. Sebab temperatur terendah dari minyak pelumas dimana minyak tersebut masih dapat mengalir lebih rendah, artinya pelumas RCR 68 masih dapat mengalir pada suhu $< -44,6^{\circ}\text{F}$ dibandingkan pelumas yang dispesifikasikan masih dapat mengalir hanya sampai suhu -34°F . Karakteristik ini kurang diperhatikan karena melihat kondisi Indonesia yang beriklim tropis, jadi pelumas tidak mungkin beroperasi sampai pada suhu 0°F dimana rata temperatur udara luar berkisar antara 81°F - 95°F .

5. Viskositas pada 100°F

Pelumas RCR 68 baru pada temperatur 100°F memiliki viskositas kinematik sebesar 43,8 Cst sedangkan viskositas yang diinginkan dari spesifikasi kompresor pada temperatur 100°F adalah 38 Cst.

Disini dapat dilihat bahwa viskositas kinematik dari pelumas RCR 68 lebih besar atau lebih dari viskositas kinematik yang diinginkan oleh spesifikasi kompresor. Viskositas dari minyak pelumas adalah suatu ukuran dari besar tahanan yang diberikan oleh minyak pelumas tadi untuk mengalir atau dengan kata lain suatu ukuran kekentalan dari minyak pelumas tersebut. Makin besar viskositas berarti makin besar tahanannya untuk mengalir, yang berarti makin kental.

6. Viskositas pada 210°C

Pelumas RCR 68 pada temperatur 210°F dari hasil pengujian memiliki viskositas kinematik sebesar 9,04 Cst, sedangkan viskositas kinematik yang diinginkan oleh spesifikasi kompresor adalah sebesar 6,0 Cst.

Dapat dilihat bahwa viskositas kinematik pelumas RCR 68 melebihi viskositas kinematik pelumas yang dispesifikasikan oleh kompresor.

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa viskositas adalah besar tahanan yang diberikan oleh minyak pelumas untuk dapat mengalir, makin besar viskositas berarti makin besar tahanannya untuk mengalir. Artinya bila viskositas kinematik pelumas RCR 68 melebihi viskositas kinematik yang dianjurkan oleh pabrikasi kompresor tahanan aliran pelumas tersebut akan bertambah dari yang seharusnya dimana hal ini dapat mengganggu kerja dari pompa pelumas yang mensirkulasikan kembali pelumas setelah dari *oil cooler* akhirnya proses pelumasan yang keluar dari *nozzle* tidak dapat berlangsung sempurna dimana dapat berakibat mempercepat keausan komponen-komponen dari kompresor, seperti: *bearing-bearing*, *gear-gear* dan komponen-komponen yang terbuat dari logam lainnya. Dimana minyak pelumas yang telah terkontaminasi oleh partikel-partikel logam dapat meningkatkan *Total Acid Number* (TAN) atau disebut Jumlah Keasaman. Hal ini terjadi karena partikel-partikel logam yang bercampur bersama pelumas akan bereaksi membentuk garam logam yang meningkatkan sifat asam dari minyak pelumas.

7. Jumlah Keasaman

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah keasaman dari pelumas RCR 68 adalah 0,10 mg/KOH sedangkan *Atlas Copco* menspesifikasi-kan pelumas yang digunakan memiliki jumlah keasaman minimal 0,08. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan asam minyak pelumas RCR 68 sangat sedikit dan telah memenuhi spesifikasi karena jumlah keasaman yang tinggi tidak diharapkan pada pelumas sehingga semakin kecil jumlah keasaman maka semakin baik pelumas tersebut.

IV.2 Analisa Hasil Pengujian Pelumas Bekas RCR 68

Pelumas yang diuji adalah pelumas RCR 68 baru yang telah dioperasikan di kompresor 411 CP 3 selama 1250 jam *running hour*. Hasil pengujian pelumas RCR 68 bekas dapat dilihat pada tabel 5. Dari hasil pengujian tersebut akan

dilakukan analisa terhadap karakteristik dari minyak pelumas yang meliputi viskositas pada 210°F, titik nyala, kadar air, zat tak larut benzena dan jumlah

keasaman. Analisa dilakukan berdasarkan perubahan yang terjadi pada setiap karakteristik pelumas tersebut.

Tabel 5 Perbandingan hasil uji karakteristik pelumas sebelum dan setelah beroperasi

No.	Parameter Uji	Satuan	Metode	Pelumas baru	Pelumas beroperasi 1250 jam
1.	Berat Jenis	-	Piknometer	0.8831	-
2.	Kadar Air	%	Xylol	0.31	0,0
3.	Titik Nyala	°F	Penyalaaan	469,4	473
4.	Titik Beku	°F	Pembekuan	<-44,6	-
5.	Viskositas pada 100°F	Cst	Viskosimetri	43.8	-
6.	Viskositas pada 210°F	Cst	Viskosimetri	9.04	9,90
7.	Keasaman Jumlah	Mg/KO H	Titrimetri	0.10	2,5031
8.	Zat tak larut benzena	%	Gravimetri	0.09	0,02

Pelumas RCR 68 yang telah dioperasikan di kompresor selama 1250 jam mengalami peningkatan titik nyala, viskositas pada 210°F dan jumlah keasaman. Peningkatan yang paling ekstrim terlihat pada jumlah keasaman, dimana peningkatan ini telah melebihi batas maksimum jumlah keasaman yang disyaratkan untuk kompresor. Sedangkan peningkatan viskositas kinematik pada 210°F masih dapat ditoleransi karena peningkatannya tidak terlalu besar.

Berikut adalah analisa terhadap hasil pengujian minyak pelumas bekas RCR 68:

1. Titik Nyala

Dari hasil pengujian, titik nyala minyak pelumas RCR 68 sebelum dioperasikan adalah 469,4°F atau 243°C. Setelah dioperasikan di kompresor

Atlas Copco tipe GA 160W titik nyala minyak pelumas meningkat menjadi 473°F atau 245°C. Peningkatan titik nyala disebabkan karena peningkatan dari viskositas minyak pelumas bekas dan adanya kontaminasi keausan logam.

Peningkatan dari titik nyala pada dasarnya tidak memberikan pengaruh terhadap kinerja dari pelumas untuk melumasi kompresor, malah semakin baik dengan titik nyala yang lebih tinggi karena dengan pemanasan di elemen kompresor, uap yang dihasilkan pelumas akan lebih sulit untuk terbakar.

2. Kadar Air

Kadar air pelumas RCR 68 baru atau sebelum dioperasikan di kompresor adalah 0,8831 % vol. Setelah dioperasikan di kompresor selama 1250 jam kadar air minyak pelumas adalah 0,0.

Hal ini berarti kadar air pelumas baru yang melebihi batas tidak berpengaruh pada operasi pelumas, sedangkan pelumas tidak mengandung air sama sekali setelah dioperasikan selama 1250 jam di kompresor tersebut dapat terjadi karena air yang terdapat pada pelumas mengalami penguapan pada suhu tertentu dan saat air dalam fase gas, uap air bercampur bersama udara terkompresi dan terpisah dari pelumas di *element separator*. Dimana *separator* memisahkan antara minyak dengan udara serta uap air untuk kemudian udara didinginkan di *after cooler* dan hasil dari kondensasi uap air yang dibawa udara dibuang di *water trap*.

3. Viskositas pada 210°F

Viskositas pelumas RCR 68 pada 210°F sebelum dioperasikan di kompresor adalah 9,04 Cst. Setelah beroperasi di kompresor selama 1250 jam viskositas kinematik pelumas pada 210°F meningkat menjadi 9,90 Cst. Viskositas kinematik pelumas yang meningkat dapat disebabkan karena terjadi proses oksidasi pada minyak pelumas yang menghasilkan zat larut yang bersifat asam. Zat asam yang larut bersama dengan minyak pelumas akan menghasilkan lem (*varnish*) yang meningkatkan viskositas pelumas.

4. Jumlah Keasaman

Pelumas RCR 68 sebelum dioperasikan di kompresor memiliki jumlah keasaman 0,10 mg/KOH. Setelah di-*running* di kompresor selama 1250 jam jumlah keasaman meningkat menjadi 2,5031 mg/KOH. Batas maksimum peningkatan jumlah keasaman pelumas bekas dari *BP Results* adalah 1,1 mg/KOH. Peningkatan jumlah keasaman disebabkan karena terjadinya proses oksidasi yang berlebihan. Terjadinya reaksi oksidasi pada minyak pelumas merupakan suatu peristiwa yang tidak diinginkan. Hal ini karena hasil oksidasinya yang dapat larut maupun tidak dalam minyak pelumas akan memberikan pengaruh negatif. Hasil oksidasi yang tidak larut yang berupa lumpur akan menyumbat dan merusak lubang-lubang saluran, pipa-pipa saluran, *filter-filter* dan lain-lainya dari sistem pelumasan. Sedangkan hasil oksidasi yang larut yang bersifat asam tetap ikut tersirkulasi didalam minyak pelumas pada saat melayani mesin. Sifat asam dari hasil oksidasi ini mempunyai pengaruh memberikan korosi terlebih lagi pada suhu tinggi. Asam ini dapat merusak permukaan bantalan dengan menimbulkan lubang-lubang atau menimbulkan deposit yang seperti lem (*varnish*) yang dapat melekatkan bagian-bagian penting dari sistem yang dilumasi.

5. Zat Tak Larut Benzena

Zat tak larut benzena pelumas sebelum dioperasikan di kompresor adalah 0,09%. Setelah dioperasikan di kompresor selama 1250 jam kandungan zat tak larut benzena-nya adalah 0,02. Penurunan zat tak larut benzena disebabkan karena menguapnya zat-zat tersebut yang memiliki berat jenis lebih rendah dari udara, dimana zat-zat tak larut benzena pada pelumas sebelum dioperasikan ikut terlarut bersama udara yang dipisahkan dari pelumas.

IV.3 Analisa Hasil Pengujian Pelumas yang Rusak

Hasil pengujian laboratorium karakteristik fisik dan kimia pelumas RCR 68 yang pernah mengalami kerusakan sehingga mengakibatkan kerusakan kompresor dengan lama beroperasi yang berbeda dapat dilihat pada lampiran 3.

Karakteristik fisik dan kimia yang meningkat diatas batas maksimum yang diijinkan dicetak dengan warna merah. Dari hasil pengujian tersebut akan dianalisa setiap karakteristik fisik dan kimia dari minyak pelumas. Analisa akan mencari penyebab dari perubahan karakteristik dari pelumas yang melebihi batas maksimum yang diijinkan setelah beroperasi di kompresor.

Sebagian besar sampel pelumas yang rusak menunjukkan peningkatan yang drastis pada karakteristik fisik yaitu viskositas kinematik dan jumlah keasaman atau TAN. Sedangkan karakteristik kimia pada pelumas yang rusak rata-rata peningkatan ekstrim terjadi pada kandungan tembaga (*copper*) dan timbal hitam (*lead*). Sedangkan karakteristik lainnya rata-rata adalah normal. Pada hasil uji minyak pelumas RCR 68 yang dioperasikan selama 1250 jam pada tabel 5 ternyata menunjukkan karakteristik kimia yang sama meningkat dengan karakteristik kimia pelumas yang rusak yaitu viskositas dan jumlah keasaman. Meskipun tingkat peningkatan viskositas dan jumlah keasaman pada tabel 5 tidak sebesar peningkatan viskositas dan jumlah keasaman pelumas yang rusak, namun hal ini memperkuat analisa terjadinya oksidasi pada pelumas. Berikut akan dianalisa karakteristik fisik dan kimia dari pelumas yang rusak:

1. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik dari minyak pelumas RCR 68 baru pada 40°C adalah 68,5 Cst. Setelah beroperasi di kompresor viskositas kinematik pada 40°C dari minyak pelumas yang rusak sebagian besar meningkat drastis dari 90,20 Cst hingga 299,25 Cst. batas viskositas kinematik pada 40°C pelumas bekas adalah 54,4-81,6 Cst.

Viskositas dari minyak pelumas adalah suatu ukuran dari besar tahanan yang diberikan oleh minyak pelumas tadi untuk mengalir atau dengan kata lain suatu ukuran kekentalan dari minyak pelumas tersebut. Makin besar viskositas berarti makin besar tahanannya untuk mengalir, yang berarti makin kental.

Peningkatan viskositas yang drastis disebabkan karena peningkatan jumlah keasaman diluar batas yang ditentukan untuk pelumas bekas dan kontaminasi kotoran udara luar yang membentuk endapan.

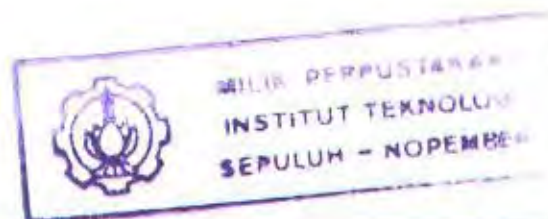
2. Jumlah Keasaman atau TAN (Total Acid Number)

Pelumas RCR 68 yang belum dioperasikan memiliki jumlah keasaman sebesar 0,10 mg/KOH. Pelumas RCR 68 yang rusak setelah beroperasi di kompresor memiliki jumlah keasaman antara 2,58 sampai 31,67 mg/KOH. Batas kenaikan jumlah keasaman adalah $\pm 1,1$ dari harga nominal jumlah keasaman pelumas baru. Dapat dilihat bahwa pelumas yang rusak mengalami peningkatan jumlah keasaman yang drastis. Jumlah keasaman yang meningkat mengindikasikan terjadinya proses oksidasi yang berlebihan pada pelumas. Proses oksidasi terjadi karena reaksi kimia yang dipicu antara lain oleh adanya panas, logam katalis seperti tembaga, air dan kontaminasi. Dari berbagai faktor yang dapat memicu terjadinya oksidasi, temperatur merupakan faktor pemicu utama. Akibat dari oksidasi dapat terlihat minimal dari satu atau dua dari tiga gejala oksidasi yaitu: meningkatnya viskositas, meningkatnya jumlah keasaman (TAN) serta terbentuknya formasi endapan (*sludge*) serta pernis (*varnish*).

3. Kandungan Tembaga

Kandungan tembaga (*copper*) pada minyak pelumas yang rusak adalah karakteristik kimia yang meningkat drastis yaitu antara 50 ppm – 134 ppm. Batas kandungan tembaga karena keausan adalah 10-30 ppm. Kenaikan kandungan tembaga pada pelumas dapat disebabkan karena keausan tabung (*tube*) dari *oil cooler*, dimana bagian yang paling banyak mengandung tembaga adalah tabung (*tube*) dari *oil cooler*. Kontaminasi karena keausan tembaga dapat memicu terjadinya oksidasi, seperti yang telah dijelaskan diatas. Kontaminasi dapat juga disebabkan karena oksidasi telah terjadi terlebih dahulu sehingga menyebabkan jumlah keasaman meningkat dimana sifat asam dapat menyebabkan korosi pada logam yang menyebabkan keausan.

4. Kandungan Timbal Hitam (*lead*)



IV.4 Konstruksi FTA

Berdasarkan lampiran konstruksi FTA, terlihat bahwa *top event*-nya adalah kompresor rusak, kerusakan tersebut terjadi jika kejadian dibawah gerbang G0, yaitu kerja kompresor overload atau sistem pendukung kompresor tidak optimal atau karena material komponen-komponen kompresor yang jelek.

Sistem pendukung kompresor meliputi tiga faktor utama pada gerbang G1 yaitu: sistem pelumasan, faktor lingkungan yang tidak mendukung dan faktor putaran dari motor listrik yang menjadi penggerak utama dari kompresor.

Pada *basic event* pompa aus atau rusak, *oil cooler element* tidak berfungsi atau pipa air pendingin bocor maka akan menyebabkan proses pendinginan minyak pelumas di *oil cooler* tidak optimal. Pelumas yang beroperasi di kompresor berfungsi untuk mengompresi udara dan mendinginkan komponen-komponen kompresor sedangkan pelumas sendiri didinginkan oleh air di *oil cooler element*. Dimana jika pendinginan pelumas tidak optimal maka pelumas akan mengalami *overheating* yang dapat mengakibatkan terjadi oksidasi pada minyak pelumas. Proses oksidasi terjadi karena reaksi kimia yang dipicu antara lain oleh adanya panas, logam katalis seperti tembaga, air dan kontaminasi. Dari berbagai faktor yang dapat memicu terjadinya oksidasi, temperatur merupakan faktor pemicu utama. Kecepatan oksidasi hidrokarbon umumnya menjadi dua kali lipat setiap peningkatan suhu 10°C . Tetapi kecepatan reaksi oksidasi berlangsung lambat pada suhu dibawah 60°C . Bila minyak dioperasikan pada temperatur operasi yang jauh tinggi dari suhu operasinya yang normal maka usia guna (*life time*) dari minyak pelumas tersebut akan berkurang.

Penurunan kualitas sebagai akibat oksidasi dapat terlihat minimal dari satu atau dua dari tiga gejala oksidasi yaitu: meningkatnya viskositas, meningkatnya jumlah keasaman (TAN) serta terbentuknya formasi endapan (*sludge*) serta pernis (*varnish*). Hidroperoksida labil merupakan hasil oksidasi pertama yang timbul dan memicu rangkaian oksidasi selanjutnya. Peroksida tersebut berasal dari perubahan bentuk material larut, seperti: alkohol, aldehida, asam keton dan oksida asam, selanjutnya melalui polimerisasi dan reaksi kondensasi, endapan serta pernis yang tak larut mulai terbentuk.

Penurunan kualitas sebagai akibat dari oksidasi seperti disebutkan diatas dapat terlihat dengan meningkatnya viskositas kinematik pelumas tersebut. Hal ini dibuktikan

dengan hasil pengujian minyak pelumas RCR 68 baru dan minyak pelumas RCR 68 yang telah *dirunning* di kompresor 411 CP3 selama 1250 jam. Pelumas baru memiliki viskositas kinematik pada 210°F sebesar 9,04 Cst setelah dioperasikan di kompresor selama 1250 jam viskositas kinematik pada 210°F meningkat sebesar 9,90 Cst. Peningkatan yang lebih drastis terjadi pada pelumas yang dioperasikan di kompresor 411 CP 4. Pelumas RCR 68 baru memiliki viskositas kinematik pada 100°F sebesar 43,8 Cst. Setelah *dirunning* di kompresor 411 CP4 memiliki viskositas kinematik pada 40°F sebesar 136,58 Cst. Batas viskositas kinematik pada 40°C adalah 81,6 Cst. Hal ini terjadi karena indikasi terbentuknya endapan dan pernis yang tidak larut di pelumas tidak diketahui lebih awal. Peningkatan viskositas kinematik sebagai akibat dari oksidasi kecepataannya selain tergantung dari peningkatan temperatur juga tergantung dari kondisi kompresor sendiri, dimana penurunan kualitas material kompresor juga diperhitungkan.

Sedangkan gejala lain yang mengindikasikan terjadinya oksidasi adalah meningkatnya jumlah keasaman (TAN). Gejala tersebut dibuktikan dengan hasil pengujian minyak pelumas RCR 68 baru dan minyak pelumas RCR 68 yang telah *dirunning* di kompresor 411 CP3 selama 1250 jam. Jumlah keasaman pelumas baru RCR 68 adalah 0,8 mg/KOH sedangkan jumlah keasaman pelumas bekas tidak mengental setelah dioperasikan selama 1250 jam sebesar 2,5031 mg/KOH, dan jumlah keasaman pelumas bekas yang mengalami pengentalan adalah 13,42 mg/KOH. Peningkatan ini sangat jauh dari batas yang ditentukan yaitu maksimal 1,1 mg/KOH. Sifat dari asam pada umumnya adalah korosif terhadap logam.

Gejala timbulnya endapan serta pernis yang tidak larut di pelumas dapat ditunjukkan dari hasil pengujian minyak pelumas yang mengalami pengentalan, pelumas RCR 68 yang mengental memiliki zat tak larut n-Heptane sebesar 0,71% berat. Sedangkan batas maksimum kandungan zat tak larut n-Heptane adalah 0,20% berat.

Terjadinya *event* minyak pelumas *overheating* yang menyebabkan pelumas mengalami oksidasi tinggi pada G3 disebabkan karena laju aliran air pendingin kurang dari 1,1 l/s, hal ini dapat disebabkan karena kapasitas pompa air ke instalasi sistem pendingin kurang karena penurunan kualitas komponen pompa atau keausan komponen pompa. Penyebab lain adalah adanya kebocoran pipa air pendingin di instalasi.

Kebocoran ini tidak terdeteksi karena lokasi dimana kebocoran terjadi sulit dijangkau jadi lolos dari inspeksi.

Penyebab lain terjadinya oksidasi adalah karena adanya kontaminasi seperti terlihat pada G9. Kontaminasi dari sistem kompresor sendiri diindikasikan dengan adanya kandungan logam pada pelumas. Hal ini disebabkan karena penurunan kualitas dari komponen-komponen kompresor. Pada G10 terlihat bahwa kontaminasi logam terdiri dari kontaminasi besi, kontaminasi logam katalis seperti tembaga dan kontaminasi aluminium.

Kontaminasi tembaga pada minyak pelumas dikompresor dapat disebabkan karena *basic event* keausan dari *bearing*. Keausan yang terjadi pada *bearing* dibuktikan dengan hasil analisa logam pada pengujian sampel pelumas RCR 68 yang telah dioperasikan di kompresor 411 CP4 selama 704 jam memiliki kandungan tembaga sebesar 134 ppm. Batas kandungan tembaga pada minyak pelumas bekas adalah 10-30 ppm untuk kompresor rotary. Hal ini juga dibuktikan pada kandungan tembaga pada pelumas yang mengental setelah dioperasikan di kompresor 545 CP1 selama 1590 jam sebesar 50 ppm. Tembaga di pelumas merupakan katalis yang mempercepat terjadinya proses oksidasi.

Kontaminasi silikon atau kotoran udara luar seperti dibawah gerbang G9 disebabkan *air filter* tidak berfungsi optimal sehingga kotoran udara masuk ke sistem pelumas dan *oil filter* juga rusak sehingga tidak dapat menyaring kotoran yang terdapat pada pelumas. Kontaminasi silikon atau kotoran udara luar dapat memicu terjadinya oksidasi. Namun *basic event* ini tidak diambil karena hasil pengujian menunjukkan kandungan silikon pelumas masih dibawah batas yang diijinkan.

Event Kontaminasi air dibawah gerbang G9 disebabkan karena *basic event* kapiler *oil cooler* bocor atau elemen separator rusak. Dimana kontaminasi oleh air dapat memicu terjadinya oksidasi pada pelumas. Namun *basic event* kapiler *oil cooler* bocor atau elemen separator rusak dapat dihilangkan karena terbukti bahwa kandungan air pelumas bekas tidak mengental dan pelumas bekas yang mengental memiliki kadar air < 1% batas maksimum kadar air pelumas bekas kompresor rotary adalah 0,5% vol.

Hasil pengujian minyak pelumas baru, bekas tidak mengental dan bekas mengental dapat dilihat pada tabel 4.1, dimana telah dilakukan analisa terhadap setiap karakteristik minyak pelumas meliputi: berat jenis, kadar air, titik nyala, viskositas pada



100°F, viskositas pada 210°F, jumlah keasaman dan zat tak larut benzena. Pada minyak pelumas bekas yang mengental juga akan dianalisa karakteristik kimia yang meningkat antara lain: tembaga, besi, timah hitam dan silikon.

Pada minyak pelumas baru yang *dirunning* dikompresor selama 1250 jam viskositas kinematik, jumlah keasaman dan titik nyala mengalami peningkatan. Sedangkan karakteristik lainnya yaitu kadar air dan zat tak larut benzena mengalami penurunan.

Pada minyak pelumas bekas yang mengalami pengentalan setelah *dirunning* dikompresor selama 704 jam menunjukkan peningkatan drastis pada viskositas kinematik pada 40°C, jumlah keasaman, zat tak larut n-Heptane, kandungan besi dan timah hitam.

Hal ini sangat berpengaruh terhadap kinerja kompresor dan komponen-komponen dari kompresor yang menyebabkan kerusakan dari kompresor.



BAB V

KESIMPUALAN DAN SARAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Mereka menjawab: "Maha Suci Engkau, tidak ada yang kami ketahui selain daripada yang telah Engkau ajarkan kepada kami, sesungguhnya Engkaulah Yang Maha bijaksana (Q.S. Al - Baqarah: 32)"



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang menggunakan metode *fault tree* didapatkan faktor utama yang menyebabkan kerusakan kompresor adalah kerja kompresor *overload* atau sistem pendukung kerja kompresor tidak optimal atau kondisi lingkungan tidak mendukung atau material dari komponen kompresor sendiri yang jelek. Sistem pendukung yang tidak optimal disebabkan karena pelumas tidak sesuai atau oksidasi pelumas tinggi atau kontaminasi.

Oksidasi minyak pelumas dapat disebabkan karena pelumas mengalami *overheating* atau karena adanya kontaminasi logam katalis seperti tembaga. Pelumas mengalami *overheating* dapat disebabkan karena sistem pendinginan tidak optimal atau temperatur udara *inlet* tinggi.

Pendinginan tidak optimal dapat terjadi disebabkan karena elemen *oil cooler* tidak berfungsi dengan baik atau temperatur air pendingin yang masuk ke *oil cooler* terlalu tinggi atau karena laju aliran air pendingin kurang. Laju aliran air pendingin kurang disebabkan karena tingginya kandungan zat kapur pada air pendingin sehingga membentuk lapisan kerak (*scale*). Laju aliran air pendingin kurang dapat disebabkan karena pompa aus atau rusak sehingga kapasitas pompa air pendingin kurang. Atau dapat disebabkan karena pipa air pendingin yang bocor. Pendinginan tidak optimal juga dapat disebabkan karena temperatur air pendingin yang masuk ke kompresor terlalu tinggi sehingga proses perpindahan panas antara minyak dan air pendingin tidak optimal.

Berdasarkan hasil analisa *fault tree*, analisa hasil pengujian karakteristik minyak pelumas sebelum dioperasikan, setelah dioperasikan di kompresor selama 1250 jam dan pelumas yang rusak dapat digunakan untuk menentukan *basic event* yang paling mungkin menyebabkan kompresor rusak, jadi dapat disimpulkan bahwa kerusakan di kompresor disebabkan oleh:

a. Keausan *bearing*

Keausan *bearing* menyebabkan kontaminasi tembaga sebagai logam katalis yang dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada minyak pelumas. Dimana oksidasi pelumas akan menyebabkan TAN meningkat, terbentuknya endapan lumpur (*sludge*) dan viskositas meningkat yang menyebabkan kerusakan dari kompresor

b. Temperatur dan kelembaban udara tinggi

Temperatur dan kelembaban udara tinggi dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada minyak pelumas, karena pada udara yang mempunyai kelembaban tinggi memiliki kandungan oksigen yang tinggi sehingga lebih memungkinkan terjadinya oksidasi.

c. Ventilasi ruangan kurang

Seperti yang dijelaskan pada item (b) bahwa temperatur dan kelembaban tinggi dapat menyebabkan terjadinya proses oksidasi pada minyak pelumas. Ventilasi ruangan sangat berpengaruh terhadap kelembaban udara ruangan.

d. Temperatur air pendingin ke *water inlet* tinggi.

Temperatur air pendingin yang masuk ke *cooling water inlet* terlalu tinggi dari yang disyaratkan oleh spesifikasi kompresor dimana temperatur air pendingin yang masuk ke *cooling water inlet* adalah $\pm 30^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur air pendingin yang disyaratkan dari spesifikasi kompresor adalah 20°C . Hal ini menyebabkan perpindahan panas antara air pendingin dengan minyak pelumas tidak dapat optimal, sehingga memungkinkan terjadinya *overheating* pada pelumas. *Overheating* dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada pelumas.

V.2 Saran

- a. Mengecek kembali komponen-komponen kompresor terutama *bearing-bearing* dan komponen yang terbuat dari tembaga yang kontak langsung



dengan minyak pelumas. Bila diindikasikan terdapat keausan maka secepatnya harus diganti dengan yang baru.

- b. Mendinginkan atau mengeringkan udara sebelum masuk ke *air filter*, tujuan dari pendinginan udara adalah untuk mengurangi jumlah kandungan oksigen di udara sebelum bercampur dengan pelumas untuk meminimalkan oksidasi pada pelumas.
- c. Menambah ventilasi ruangan agar terjadi sirkulasi udara di dalam ruangan kompresor dengan udara luar tujuannya antara lain untuk mengurangi kelembaban udara.
- d. Mendinginkan air pendingin sebelum masuk ke *cooling water inlet* hingga memenuhi temperatur yang dispesifikasikan oleh kompresor. Alat pendingin yang direkomendasikan adalah:

1. Dengan menggunakan pendingin *refrigerant*

Kelebihan dari sistem pendinginan ini temperatur yang dihasilkan lebih stabil karena terdiri dari sistem tertutup. Kompresor memampatkan gas *refrigerant* dan mengalirkannya ke *condenser*, di *condenser*, *refrigerant* mengalami penurunan tekanan sehingga *refrigerant* mengalami perubahan fase dari gas ke cair, kemudian *refrigerant* melakukan kerja mendinginkan fluida yang akan didinginkan di *evaporator*. Karena peningkatan temperatur *refrigerant* berubah fase lagi menjadi gas, gas *refrigerant* mengalir ke kompresor untuk bersirkulasi kembali.

Kekurangan dari alat pendingin ini adalah harganya pasti mahal, kemudian untuk memasang alat ini harus dilakukan banyak modifikasi terhadap pipa saluran *inlet* dari air pendingin yang tentunya harus men-*shutdown* kompresor agak lama.



2. Dengan menggunakan pendingin *blower*.

Kelebihan dari alat pendingin ini adalah lebih sederhana dibandingkan *refrigerant* sehingga untuk memasangnya tidak perlu dilakukan banyak modifikasi. Jadi air pendingin setelah dari *cooling tower* di *treatment* lagi disebuah wadah yang disitu dipasang *blower*.

Kekurangan dari sistem pendingin *blower* adalah temperatur yang dihasilkan kurang stabil, karena *blower* memanfaatkan udara bebas untuk mendinginkan air, dimana temperatur udara dapat berubah. Namun hal ini dapat diatasi dengan mengatur kapasitas udara yang dihasilkan dengan mengatur kecepatan baling-baling *blower*.



LAMPIRAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Gunakanlah malam sekehendak hatimu, sesungguhnya malam itu siang bagi orang yang berpikiran tajam. (Imam Al - Alusi).



LAMPIRAN 1

1.1 Data spesifikasi untuk kompresor 7,5 bar – 50 Hz tipe GA 160W

Maximum working pressure	(bar)	: 7,5
Nominal working pressure	(bar)	: 6,9
Motor Shaft Speed	(r/min)	: 1490
Oil Capacity	(l)	: 85
Maximum cooling water flow (temperature rise 10°C)	(l/s)	: 3,6
Minimum cooling water flow (temperature rise 35°C)	(l/s)	: 1,1

1.2 Reference Conditions

Absolute inlet pressure	(bar)	: 1
Relative air humidity	(%)	: 0
Air inlet temperature	°C	: 20
Cooling water inlet temperature	°C	: 20

1.3 Limitations

Maximum air inlet temperature	(°C)	: 40
Minimum air inlet temperature	(°C)	: 0
Maximum cooling water inlet temperature	(°C)	: 40
Maximum cooling water outlet temperature (open system)	(°C)	: 50
Maximum cooling water outlet temperature (recirculating system)	(°C)	: 60
Maximum water inlet pressure	(bar)	: 10

1.4 Reading On Display

Data-data ini akan *valid* jika kompresor beroperasi pada *reference condition* (1.3)

Pressure drop over air filter	(bar)	: 0,050
Compressor element outlet temperature for GA W	(°C)	: ± 25
Cooling water temperature	(°C)	: 50
Pressure drop over DD filter	(bar)	: 0,35



LAMPIRAN 2

ATLAS COPCO LUBRICANT PRODUCT SPECIFICATIONS

Typical Property	Unit	Test Method	
Viscosity	(Cst)		
@ 0°F		ASTM D445	2100
@ 100°F		ASTM D445	38,0
@ 210°F		ASTM D445	6,0
Viscosity Index		ASTM D2270	109
Pour Point	(°F)	ASTM D97	-34
Flash Point	(°F)	ASTM D92	415
Four Ball Wear Test	(mm)	ASTM D2266	0,48
Demulsibility		ASTM D1401	40/39/1
Total acid Number	mg/KOH	ASTM D947	0,8
Specific Gravity		ASTM D1298	0,862



LAMPIRAN 3
HASIL PENGUJIAN PELUMAS RCR 68 YANG RUSAK

1. Sample identity : 411 CP 4
Lube Oil : Energol RCR 68
Date sampled : 01/05/2003
Oil, Km/Hrs : 704
Engine, Km/Hrs : 44644

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	136,58	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	13,42	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	0,71	Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	0	5-10
Chromium, ppm	1	5-10
Copper, ppm	134	10-30
Iron, ppm	15	15-30
Lead, ppm	60	5-10
Silicon, ppm	<1	5-10
Sodium, ppm	2	-



2. Sample identity : 411 CP 4

Lube Oil : Energol RCR 68

Date sampled : 14/04/2003

Oil, Km/Hrs : 1100

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	105,17	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	10,71	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	0,08	Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	3	5-10
Chromium, ppm	< 1	5-10
Copper, ppm	52	10-30
Iron, ppm	13	15-30
Lead, ppm	32	5-10
Silicon, ppm	5	5-10
Sodium, ppm	0	-



3. Sample identity : 411 CP 4
Lube Oil : Energol RCR 68
Date sampled : 11/04/2003
Oil, Km/Hrs : 1100

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	105,17	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	10,71	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	0,08	Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	?	5-10
Chromium, ppm	< 1	5-10
Copper, ppm	52	10-30
Iron, ppm	13	15-30
Lead, ppm	32	5-10
Silicon, ppm	5	5-10
Sodium, ppm	0	-



4. Sample identity : 413 CP 4
Lube Oil : Energol RCR 68
Date sampled : 12/10/2000
Oil, Km/Hrs : 1600

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	19,1	54,4-81,6
Water, % Vol	0	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	20,6	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt		Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	0	5-10
Chromium, ppm	0	5-10
Copper, ppm	23	10-30
Iron, ppm	22	15-30
Lead, ppm	0	5-10
Silicon, ppm	2	5-10
Sodium, ppm	3	-



5. Sample identity : 545 CP 1
Lube Oil : Energol RCR 68
Date sampled : 23/06/2003
Oil, Km/Hrs : 1600

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	299,25	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	30,09	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	2,58	Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	1	5-10
Chromium, ppm	< 1	5-10
Copper, ppm	64	10-30
Iron, ppm	10	15-30
Lead, ppm	128	5-10
Silicon, ppm	< 1	5-10
Sodium, ppm	7	-





6. Sample identity : -

Lube Oil : Energol RCR 68

Date sampled : 10/04/2002

Oil, Km/Hrs : -

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	298,38	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	31,67	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	3,67	Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	0	5-10
Chromium, ppm	< 1	5-10
Copper, ppm	2	10-30
Iron, ppm	< 1	15-30
Lead, ppm	0	5-10
Silicon, ppm	1	5-10
Sodium, ppm	< 1	-



7. Sample identity : 545 CP 1
Lube Oil : Energol RCR 68
Date sampled : 10/01/2003
Oil, Km/Hrs : 1590

Oil Analysis Results

Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	90,20	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	5,49	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	0,08	Max. 0,20

Metal Analysis Results

Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	0	5-10
Chromium, ppm	0	5-10
Copper, ppm	50	10-30
Iron, ppm	13	15-30
Lead, ppm	41	5-10
Silicon, ppm	1	5-10
Sodium, ppm	0	-



8. Sample identity : 413 CP 2
Lube Oil : Energol RCR 68
Date sampled : 08/01/2003
Oil, Km/Hrs : 1709

Oil Analysis Results

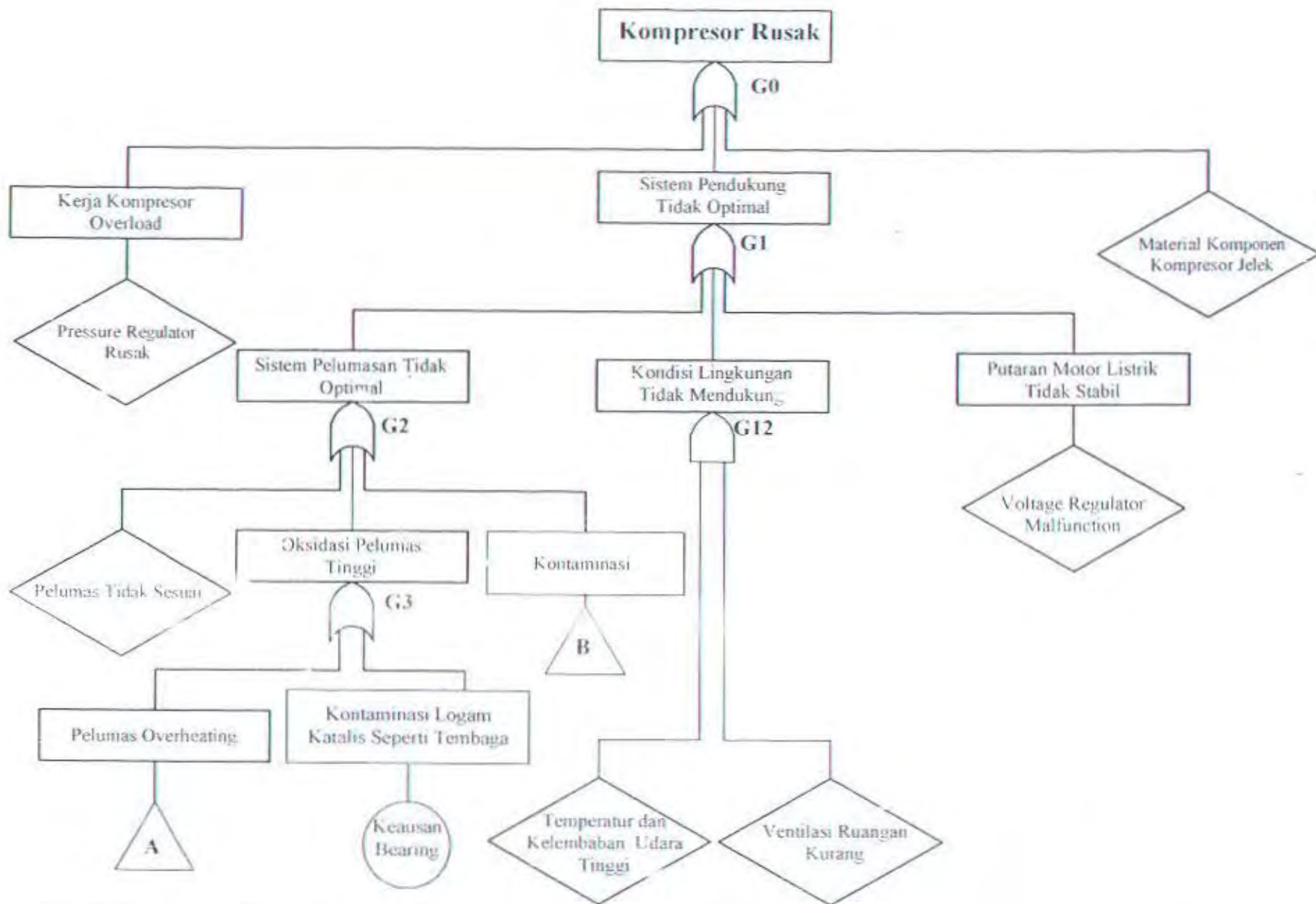
Parameters		Condemning Limits
Viscosity at 40°C, Cst	105,27	54,4-81,6
Water, % Vol	< 0,1	Max. 0,50
TAN, mg KOH/gr	7,81	+/- 1,1 of nominal
n-Heptane insolubles, %Wt	0,03	Max. 0,20

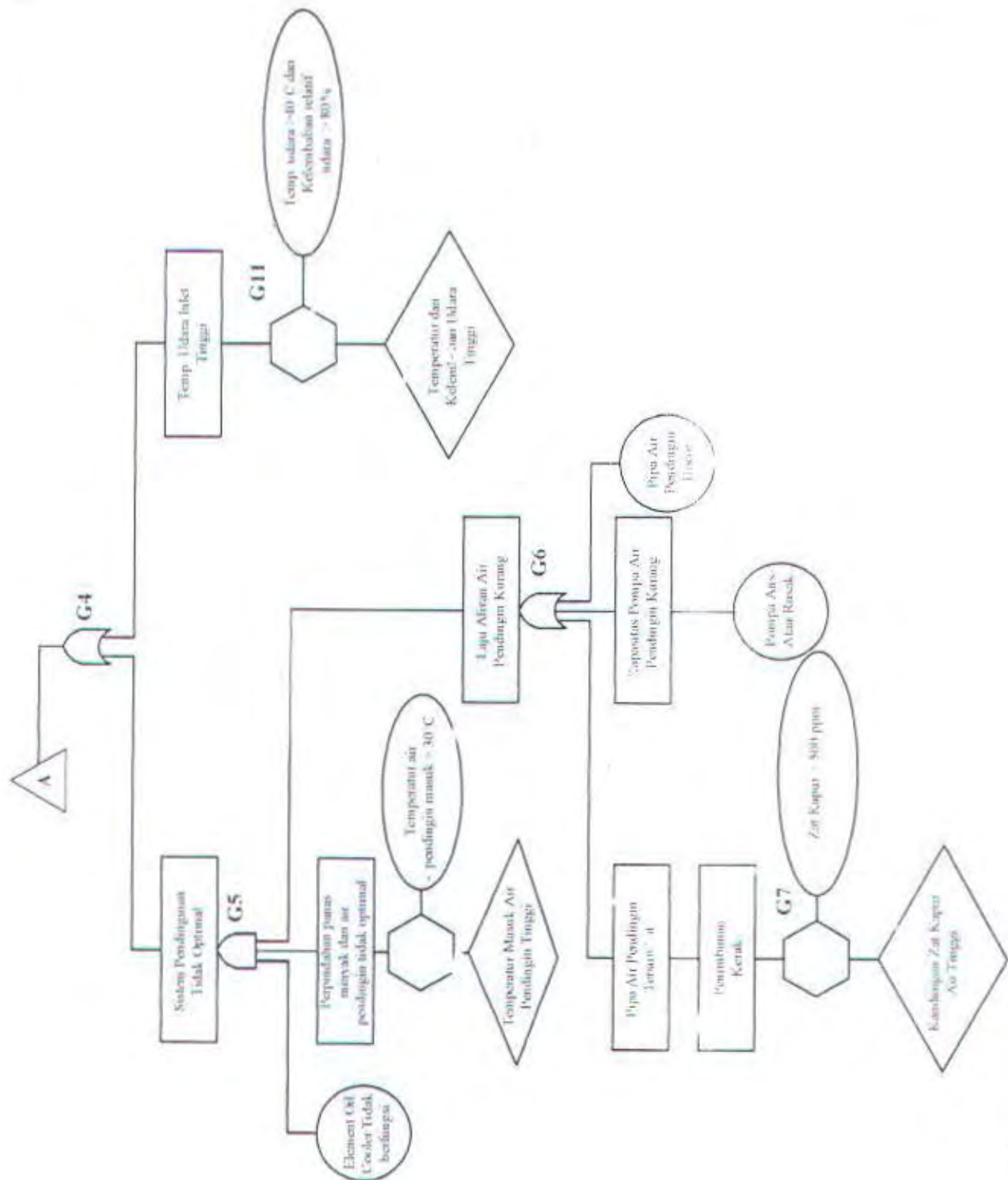
Metal Analysis Results

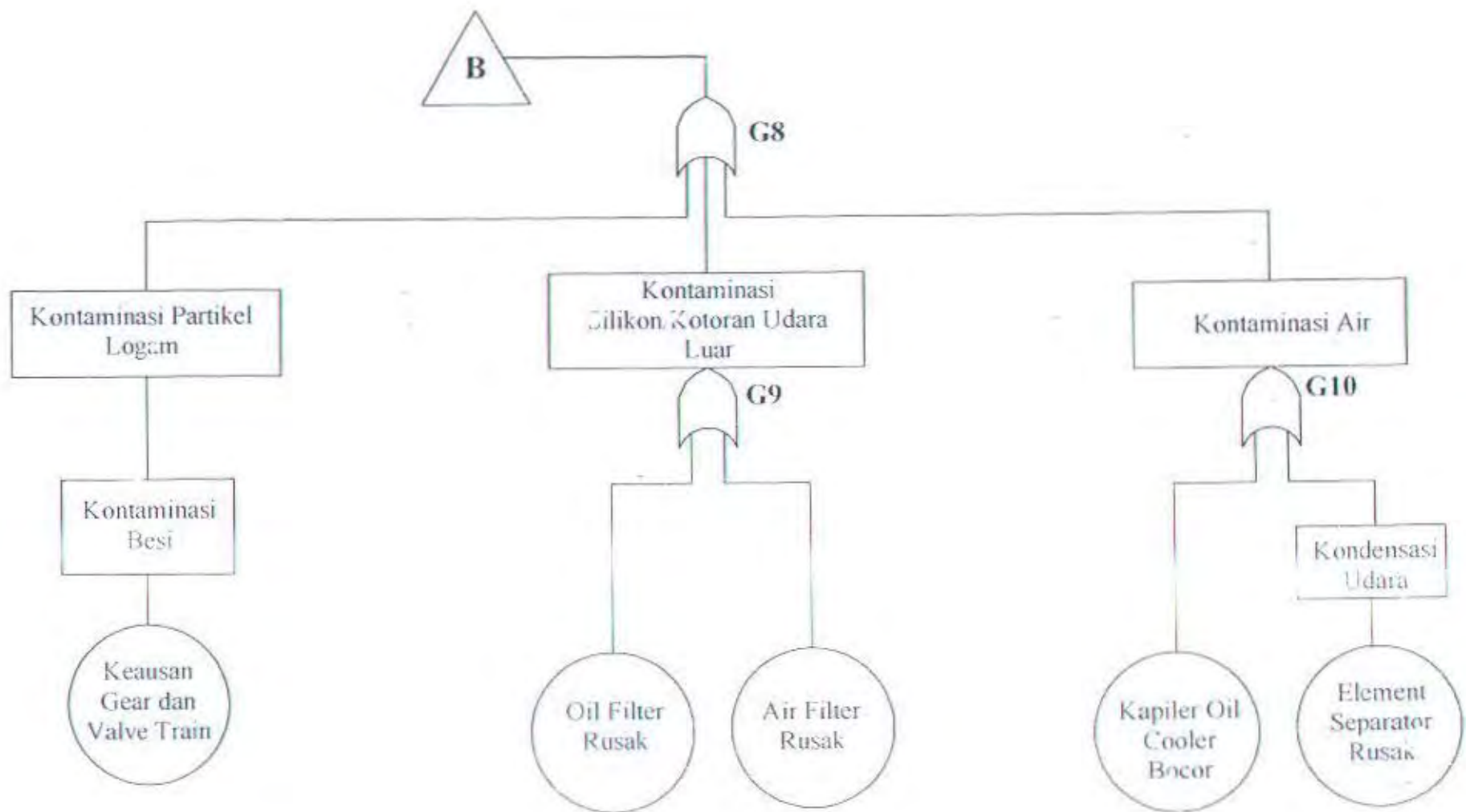
Metals		Condemning Limits
Aluminium, ppm	0	5-10
Chromium, ppm	< 1	5-10
Copper, ppm	79	10-30
Iron, ppm	< 1	15-30
Lead, ppm	18	5-10
Silicon, ppm	1	5-10
Sodium, ppm	< 1	-

LAMPIRAN 4

FAULT TREE ANALYSIS









SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir KS 1701

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu ditertibkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut di bawah untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang ditentukan

Nama Mahasiswa	: HERI SANTOSO
NRP	: 4298 100 057
Dosen Pembimbing	: 1. Ir. Lahar Baliwangi, MSc NIP. 132 133 979 2. Dr. Ir. Ketut Budha Artana, MSc NIP. 132 125 668
Tanggal Diberikan Tugas	: Oktober 2003
Tanggal Diselesaikan Tugas	
Judul Tugas Akhir	: ANALISA TEKNIK KERUSAKAN KOMPRESOR PADA SEKSI UTILITAS P.T. SEMEN GRESIK.

Surabaya, Oktober 2003

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
FT. Kelautan ITS


DR. Ir. Agoes A. Masroeri, M Eng
NIP. 131 407 591

Surabaya, Oktober 2003

Yang menerima tugas:

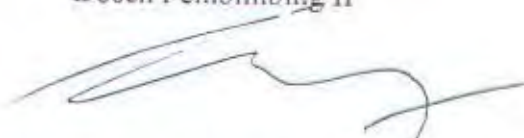
Mahasiswa

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Heri Santoso


Ir. Lahar Baliwangi, MSc


Dr. Ir. Ketut Budha Artana, MSc



LEMBAR EVALUASI PRESENTASI PROPOSAL TUGAS AKHIR (P-1)

Nama Mahasiswa: <u>Heri Santoro</u>	NRP: <u>42 98 100 054</u>
Judul Proposal: <u>Analisa teknis kegagalan kompresor di sektor unitas PT Sauru Gresik. Implementasi TE Tuban</u>	
Semester: <u>Gasal / Ganjil</u>	Tahun Ajaran: <u>2017/2018</u>
Tanggal Presentasi: <u>18 April 2018</u>	

EVALUASI OLEH TIM PENGUJI	
Hasil Evaluasi Presentasi Proposal	Kelompok Bidang Studi yang direkomendasikan
1. Proposal diterima tanpa perbaikan	1. Marine Power Plants (MPP)
2. Proposal diterima dengan perbaikan	2. Marine Machinery and Systems (MMS)
3. Proposal ditolak dan ikut Pra-TA lagi	3. Marine Automation and Electrical System (MEAS)
	4. <u>Marine Reliability and Safety (MRS)</u>
	5. Marine Manufacture and Design (MFD)

Catatan: (bila diperlukan dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik)

- Konsultasikan ke AZ
- Untuk bisa analisis kegagalan dari awal sehingga tidak langsung mengamplifikasi sumber kegagalan ke sistem pendukung
- Buat hipotesis berdasarkan data

No	Nama Dosen Penguji	Tanda Tangan	No	Nama Dosen Penguji	Tanda Tangan
1	SM		6		
2	AG		7		
3	AB		8		
4	MA		9		
5	SW		10		

EVALUASI OLEH KELOMPOK BIDANG STUDI (disisi oleh Kelompok bidang Studi yang ditunjuk)

Dosen Pembimbing yang ditunjuk: Dr. Lohar B MEng sbg Dosen Pembimbing Utama
Dr. Ir. Ketut BHA MSc sbg Dosen Pemb Pendamping

Catatan: (bila diperlukan dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik)

Nama Koord. Bdg. Studi:

Tanda Tangan Koord. Bdg. Studi:



LEMBAR HASIL EVALUASI PRESENTASI INTERIM (P2) TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa: <u>Alvin Santoso</u>	NRP: <u>42 98 100 057</u>
Tanggal presentasi: <u>15/12/2023</u>	Semester: <u>Thn Ajaran: 03/04</u>
Judul Tugas Akhir: <u>Analisa teknis kegunaan kompressor pada seksi utilitas PT. SEMEN GRESIK</u>	
Dosen Pembimbing Utama: <u>LB</u>	
Dosen Pembimbing Pendamping: <u>KB</u>	

HASIL EVALUASI

- A. Melanjutkan ke Presentasi Akhir Istimewa (P3+) 1 (satu) minggu setelah P2
- B. Melanjutkan ke Presentasi Akhir Reguler (P3) 3 (tiga) minggu sebelum yudisium
- C. Melanjutkan ke Presentasi Interim (P2) semester yang akan datang
- D. Membatalkan Tugas Akhir dan mengikuti Presentasi Proposal (P1) semester yang akan datang

CATATAN :

(Jika diperlukan bisa dilanjutkan pada halaman kosong di balik halaman ini)

No	Nama Dosen Penguji	Tanda Tangan	No	Nama Dosen Penguji	Tanda Tangan
1	LB		6	LS	
2	KB		7	KA	
3	SA		8		
4	AG		9		
5	SG		10		

LEMBAR TANDA TERIMA DRAFT LAPORAN TUGAS AKHIR

SEMESTER / TH AJARAN	GASAL / 2003/2004
NAMA MAHASISWA	HERI SANTOSO
	4298 100 057
JUDUL TUGAS AKHIR	"ANALISA TEKNIS KEGAGALAN KOMPRESOR DI SEKSI UTILITAS PT. SEMEN GRESIK KOMPARTEMEN III TUBAN"
PENYUSUN PEMBIMBING I	Ir. LAHAR BALIWANGI MENG.
PENYUSUN PEMBIMBING II	Dr. Ir. KETUT BUDHA ARTANA MSc.

NAMA DOSEN PENGUJI	JENIS LAPORAN (DRAFT / PAPER)	TANGGAL DITERIMA	TANDA TANGAN
Ir. LAHAR BALIWANGI MENG.	Draft	26/1/2004	
Dr. Ir. KETUT B.A. MSc.	Draft	27/1/2004	
Ir. TAUFIK FAJAR	Draft	27/1/2004	
Ir. AA. B. Dinarriyana P.	Draft	29/1/2004	
Ir. I Wayan Lingga, MT.	Paper	27-1	
Ir. M. Orianto BSc MSc.	Paper	27-1	
Ir. Surya Widodo A. MSc.	Paper		
Ir. Harry Prastowo	Paper		
Ir. Agus Santoso Mphil.	Paper		



LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir

Nama / NRP : HERI SANTOSO / 4298 100 057
Judul Tugas Akhir : ANALISA TEKNIS KERUSAKAN KOMPRESOR
PADA SEKSI UTILITAS P.T. SEMEN GRESIK
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Lahar Baliwangi, MSc
2. Dr. Ir. Ketut Budha Artana, MSc

NO	TGL	KEGIATAN	RENCANA ASISTENSI BERIKUTNYA TGL.	PARAF DOSEN
1	2/10'03	Konsultasi metodologi Penelitian		
2	8/10'03	Pembuatan Fault Tree Analysis		
3	15/10'03	Pengambilan data lapangan		
4	16/10'03	Mencari referensi kompresor & pelumasan		
5	23/10'03	Asistensi Bab 1, 2, 3		
6	14/11'03	Pengambilan Sampel minyak pelumas		
7	15/11'03	Pengujian sampel & Labing.		
8	15/1'04	Revisi hasil uji pelumas baru.		
9	16/1'04	Asistensi FTA		
10	20/1'04	Revisi hasil uji pelumas kelas		

Catatan (diisi oleh dosen pembimbing)

1. Tugas Akhir telah : Layak / ~~tidak layak~~ (*) untuk diujikan (*) = coret yang tidak perlu
2. Catatan lain yang dianggap perlu : (bila perlu bisa digunakan halaman kosong dibaliknya)



Nama : HERI SANTOSO / 4298 100 057

Judul Tugas Akhir : ANALISA TEKNIK KEGAGALAN KOMPRESOR
PADA SEKSI UTILITAS PT. SEMEN GRESIK
KOMPARTEMEN TUBAN

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Lahar Baliwangi, Meng.
2. DR. Ir Ketut Budha Artana, MSc.

[illegible]



NAMA / NRP : HERI SANTOSO / 4298 100 057
JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISA TEKNIS KEGAGALAN KOMPRESOR
PADA SEKSI UTILITAS PT. SEMEN GRESIK
KOMPARTEMEN TUBAN.
PEMBIMBING LAPANGAN : Baigus Dwi Wasono ST

[illegible]



NAMA / NRP : HERI SANTOSO / 4298 100 057
JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISA TEKNIS KEGAGALAN KOMPRESOR
PAL A SEKSI UTILITAS PT. SEMEN GRESIK
KOMPARTEMEN TUBAN.
PEMBIMBING LAPANGAN : *Sucipto*

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN DAN PERDAGANGAN R.I
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI DAN PERDAGANGAN
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI DAN PERDAGANGAN SURABAYA
LABORATORIUM BARISTAND SURABAYA

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Telp. (031) 8410054, 8415274, Fax. (031) 8410480

SURABAYA (60244)

<http://www.indonetwork/bppis> & Email : BISb. @ Kompascyber.com

LAPORAN HASIL UJI

No. Analisa : P. 1770
Contoh : Minyak Pelumas
Merk : -
Diterima tgl. : 20 Nopember 2003
Pengirim : Sdr. Heri Santosa
Mhs. ITS
SURABAYA

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode
1.	Berat jenis	-	0,8813	Piknometer
2.	Kadar Air	%	0,31	Xylo
3.	Titik Nyala	°C	243	Penyalan
4.	Titik Beku	°C	< -7	Pembekuan
5.	Viskositas 100°F	Cst	43,80	Viskosimetri
6.	Viskositas 210°F	Cst	9,04	Viskosimetri
7.	Keasaman Jumlah	mg/KOH	0,10	Titrimetri
8.	Zat tak larut Benzene	%	0,09	Gravimetri

Catatan : Parameter uji sesuai permintaan.

Surabaya, 29 Desember 2003

Manajer Teknis,

Ir. Abdul Rochim
NIP. 090015160



Perhatian :

Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk conto : diatas dan berlaku 90 hari sejak tanggal diterbitkannya.
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan

Kode Dok FRM -